

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL**

IARA MELLO DE FREITAS

**EFEITOS AMBIENTAIS DE BARRAGEM
SUBTERRÂNEA NA MICROBACIA DO CÓRREGO
FUNDO, REGIÃO DOS LAGOS/RJ.**

**- NITERÓI -
2006**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

IARA MELLO DE FREITAS

**EFEITOS AMBIENTAIS DE BARRAGEM
SUBTERRÂNEA NA MICROBACIA DO CÓRREGO
FUNDO, REGIÃO DOS LAGOS/RJ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Orientador: PROFESSOR CLÁUDIO BELMONTE DE A. BOHRER
Co-orientador: PROFESSOR ANTÔNIO FERREIRA DA HORA

- NITERÓI -
2006

IARA MELLO DE FREITAS

EFEITOS AMBIENTAIS DE BARRAGEM



**Aos meus pais pelo exemplo de vida que deram,
Às minhas filhas e ao meu marido por tudo que representam,
E aos meus mestres, que me conduziram na realização desta pesquisa.**

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Sergina Mello que muito me ajudou para que eu pudesse concluir essa dissertação de mestrado. Às minhas filhas, Maíra e Júlia, pela paciência de conviver por tanto tempo com uma mãe que só pensava em estudar.

Ao meu marido Alfredo Vieira Cardoso, companheiro de todos os momentos, presente em todas as horas, mesmo quando fisicamente distante, sempre apoiando e ajudando a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Cláudio Belmonte Bohrer pelo seu apoio, sempre presente nos momentos de dúvidas e de necessidade de direcionamento da presente pesquisa.

Ao meu co-orientador Antônio Ferreira da Hora que com palavras claras e sábias, me indicou caminhos hidrológicos importantes.

Ao professor Jorge Luis de Oliveira pela orientação na realização da pesquisa climática e também pela inclusão dos alunos da graduação em Geografia, Cristiano Maciel, Paulo Vianna, Robson Freitas Júnior, Flávio Moore e Wilson Santos Júnior, como estagiários na citada pesquisa.

Ao professor Élon A. do Nascimento pelo apoio dado para a simulação do funcionamento do aquífero barrado com o software *ModFlow* e a mestre Patrícia Melliande pela paciência e disposição ao me ensinar a utilização do programa.

À professora Cristiane Nunes Francisco pelo apoio na integração dos dados em SIG e na elaboração dos mapas.

Ao professor Marcos Bacis Ceddia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela realização das análises físicas de solo e pelo fornecimento de informações que permitiram a perfeita caracterização do solo da área de estudo.

Ao professor Rodrigo Raposo da ReSuB pelo apoio na realização de levantamento planialtimétrico da área de estudo, no empréstimo de equipamentos para determinação da condutividade elétrica e na utilização do *software Surfer*.

Aos professores Júlio Wasserman e Reiner Olíbano pela orientação em relação a aspectos químicos e geomorfológicos.

Aos professores William Zamboni de Mello e Emmanoel da Silva Filho, do Departamento de Geoquímica da UFF, pela realização de parte das análises químicas da água da barragem.

Ao professor Evandro Barbieri, por ter cedido parte dos dados climáticos de séries históricas da Estação Meteorológica de Iguaba Grande.

Ao professor Rui Erthal, chefe do Departamento de Geografia da UFF, pelo empenho para conseguir dados climáticos do INMET importantes para a presente pesquisa.

Ao Professor Alexandre Ravelli, ao mestre Glécio Siqueira e ao aluno da Graduação Osvaldo Guedes Filho, da UFRRJ, pelo apoio na elaboração das análises de solo.

À doutora Lísia V. Barroso pelo apoio na correção e formatação final da dissertação.

À Companhia Nacional de Álcalis e ao Consórcio Intermunicipal Lagos São João pela realização de grande parte das análises químicas da água da barragem.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pela cessão de parte dos dados climáticos utilizados.

À amiga Miriam Nissan Cohen, ex-Secretária de Agricultura de Iguaba Grande, por ter acreditado na EMATER-RIO e na PESAGRO-RIO e ter criado a parceria que viabilizou o Projeto Águas da Terra.

Ao amigo e técnico da PESAGRO-RIO, Marcos Outeiro, pela parceria técnica em todas as fases do Projeto Águas da Terra, assim como na realização dessa pesquisa.

Ao Dr. Júlio Cesar da Silva Monteiro de Barros Dr, chefe da Estação Experimental de Macaé da PESAGRO-RIO, e aos funcionários; João Santana, Valdinei M. da Silva, João A. Rodrigues, Valdecir F. Xavier e Jucelino M. da Costa, pelo apoio fundamental para a construção dos poços de observação e implantação dos trabalhos de pesquisa no campo.

Aos colegas e amigos da EMATER-RIO Dimas Tadeu Dias, Evelise D. Ferreira, Vanilda T. de Jesus, Jorge F. de Souza pelo apoio incondicional a realização dessa dissertação. Ao colega João Batista Alves pela troca de informações e bibliografias durante a realização da dissertação e apoio nas análises estatísticas. E a colega e amiga Ercília F. das Chagas, Chefe do Núcleo de Ordenação da EMATER-RIO, pela inclusão de estagiários da graduação da UFF e da UFRRJ no projeto de pesquisa.

Aos diretores da EMATER-RIO Nilton Salomão, Cosme Vianna, Magnólia C. Maio, Paulo César Borges e Vander J. Carvalho por terem me liberado dos afazeres diários no Escritório Local da EMATER-RIO para realização do mestrado e também pelo apoio financeiro nas despesas de deslocamento.

E finalmente um grande agradecimento aos agricultores Valdemiro Felizardo de Souza e Joaquina Rosa Conceição Souza por abrirem à porta do Sítio Travessa dos Veríssimos e receberem com grande hospitalidade todas as pessoas envolvidas na pesquisa. E também ao agricultor Gilmar Lessa Chaves pela ajuda na coleta de dados climáticos e de água e ao trabalhador municipal Euzébio Pereira pela abertura das trincheiras e apoio nos serviços de campo.

SUMÁRIO

Dedicatória.....	4
Agradecimentos	5
Lista de Figuras	10
Lista de Tabelas	13
Lista de Quadros.....	14
Resumo	15
Abstract.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVO.....	19
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.2 JUSTIFICATIVAS	19
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DA BARRRAGEM PESQUISADA	22
2.1 LOCALIZAÇÃO, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	22
2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DA VEGETAÇÃO	25
2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	26
2.4 RECURSOS HÍDRICOS	26
2.5 A BARRAGEM SUBTERRÂNEA PESQUISADA	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	33
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA.....	33
3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA	34

3.3 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	37
3.3.1 VAZÃO NO SANGRADOURO	37
3.3.2 VAZÃO DA BARRAGEM	38
3.3.2.1 Condutividade Hidráulica.....	39
3.3.2.2 Modelagem da Barragem Subterrânea	40
3.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM	42
3.5 IMPACTOS SOBRE O SOLO E A VEGETAÇÃO	43
3.6 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO.....	44
4 RESULTADOS	46
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	46
4.1.1 ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS (1970/1999)	46
4.1.2 ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS DO PERÍODO PESQUISADO.....	52
4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	54
4.2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA	54
4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA	56
4.2.2.1 Caracterização do Solo.....	57
4.2.2.2 Estimativa das Dimensões do Aquífero Barrado	60
4.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	63
4.3.1 VAZÃO SUPERFICIAL.....	63
4.3.2 VAZÃO DA BARRAGEM.....	67
4.3.2.1 Flutuação do Lençol Freático	67
4.3.2.2 Teste de Bombeamento no Poço de Extração	70
4.3.2.3 Condutividade Hidráulica.....	70
4.3.2.4 Modelagem do Aquífero Barrado.....	72
4.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM	74
4.5 IMPACTOS SOBRE O SOLO E A VEGETAÇÃO	80
4.6 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO.....	84
5 DISCUSSÃO	86
5.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	86
5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA	87
5.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BARRAGEM SUBTERRÂNEA.....	87
5.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM	88
5.5 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO	89

6 CONCLUSÃO.....	91
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
8 APÊNDICES	98
8.1 CÁLCULO DO ÍNDICE XEROTÉRMICO. DADOS CLIMÁTICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IGUABA GRANDE (1970-1999)	98
8.2 BALANÇO HÍDRICO SEQUÊNCIAL DA ÁREA DE ESTUDO NO ANO 2005	99
8.3 PRECIPITAÇÃO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA BARRAGEM E VAZÃO DO SANGRADOURO. VALORES MEDIDOS DIARIAMENTE DO ANO 2005	101
8.4 PRECIPITAÇÕES E VAZÕES MÉDIAS MENSAIS. DADOS DO ANO 2005	108
8.5 ESPECIFICAÇÕES DOS TESTES DE BOMBEAMENTO NO POÇO TIPO CACIMBA.....	109
8.6 CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PELO MÉTODO DE HVORSLEV.....	110
9 ANEXOS	111
9.1 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.	111
9.2 DIRETRIZES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO	112

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa das Grandes Bacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro	23
FIGURA 2 – Mapa Geoambiental da Região dos Lagos	24
FIGURA 3 – Mapa de Solos e Vulnerabilidade das Terras da Bacia do Rio Una	25
FIGURA 4 – Mapa de Pontos e Qualidade das Águas Subterrâneas na Região dos Lagos....	28
FIGURA 5 – Esquema de funcionamento da barragem subterrânea.....	29
FIGURA 6 – Detalhes do processo de construção da barragem subterrânea.....	30
FIGURA 7 – Equipamentos utilizados para avaliação climática da área de estudo.....	33
FIGURA 8 - Perfis de solo 1 e 2, situados na bacia de contribuição	36
FIGURA 9 – Detalhe do acabamento dos poços de observação	36
FIGURA 10 – Esquema dos poços de observação	37
FIGURA 11 - Poço tipo cacimba utilizado em irrigação e medições de vazão	39
FIGURA 12 - Barragens subterrâneas implantadas pelo Projeto Águas da Terra	41
FIGURA 13 a – Gráfico do Balanço Hídrico Normal. Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ (1970/1999)	48
FIGURA 13 b – Extrato do Balanço Hídrico. Estação Meteorológica de Iguaba Grande.....	48

FIGURA 14 – Diagrama Ombrotérmico de Gausson Normal (1970/1999). Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ	49
FIGURA 15 – Anomalias das Precipitações Anuais. Estação Meteorológica de Iguaba Grande	51
FIGURA 16 – Distribuição da ocorrência de chuva máxima em 24 horas (1970/1995).	52
FIGURA 17 – Extrato do Balanço Hídrico Sequencial da área de estudo, no ano 2005	53
FIGURA 18 – Mapa Topográfico da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo.....	55
FIGURA 19 – Vista da lateral direita da barragem subterrânea.....	56
FIGURA 20 – Croqui das bacias de contribuição e hidráulica da barragem subterrânea	61
FIGURA 21 - Sangradouro e lâmina vertente em duas datas, correspondentes a período seco e chuvoso	64
FIGURA 22 – Vazão medida diariamente no sangradouro, de 01/02/05 a 31/12/05.....	64
FIGURA 23 – Representação gráfica da precipitação e da vazão ao longo do ano 2005 (valores médios mensais)	65
FIGURA 24 a – Precipitação e vazão no sangradouro em época seca do ano.....	66
FIGURA 24 b – Precipitação e vazão no sangradouro em época chuvosa do ano	66
FIGURA 25 – Variação da altura do lençol freático, no sangradouro e a jusante, medida no linímetro em época seca (agosto) e chuvosa (novembro)	68
FIGURA 26 – Mapa potenciométrico do aquífero barrado.....	69
FIGURA 27 – Variação das cotas do lençol freático ao longo do 2º semestre de 2005.....	70
FIGURA 28 – Esquema gráfico do aquífero barrado quando submetido à extração	74
FIGURA 29 – Variação da precipitação, da evapotranspiração e dos teores de diversos elementos químicos na água de irrigação, no ano 2005	77
FIGURA 30 – Aspecto da área na época de construção da barragem subterrânea	81

FIGURA 31 - Ambiente do entorno da barragem no Arrastão das Pedras	82
FIGURA 32 - Ambiente do entorno da barragem em Sapeatiba Mirim.....	82
FIGURA 33 – Ocupação do solo antes e depois da implantação da barragem subterrânea, na localidade de Sapeatiba Mirim	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Normais Climatológicas da Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ, (1970/1999)	47
TABELA 2 – Balanço Hídrico Normal da Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ, (1970/1999)	47
TABELA 3 – Precipitações e distribuição de períodos secos. Estação Meteorológica de Iguaba Grande (1970/1999)	50
TABELA 4 – Chuva Máxima em 24 horas. Estação Meteorológica de Iguaba Grande	52
TABELA 5 - Granulometria do solo da bacia hidráulica	57
TABELA 6 – Características físicas médias do solo da bacia hidráulica da barragem.....	59
TABELA 7 – Características físicas do solo da bacia de contribuição	59
TABELA 8 - Medição da vazão de equilíbrio do poço	70
TABELA 9 - Medição da vazão de reposição de água no poço	71
TABELA 10 – Condutividade hidráulica e granulometria nos poços de observação	72
TABELA 11 – Balanço de massa do <i>ModFlow</i> , período de 30 dias	73
TABELA 12 – Análise da água armazenada na barragem ao longo do ano 2005.....	78
TABELA 13 - Matriz de correlação dos componentes principais (ACP), entre os elementos químicos e componentes do Balanço Hídrico	79

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Contornos da bacia hidráulica da barragem.....	63
QUADRO 2 – Resultados dos testes estatísticos correlacionando à vazão no sangradouro e a precipitação medida na área da barragem no ano 2005.....	67
QUADRO 3 – Parâmetros adotados na modelagem do aquífero	73
QUADRO 4 – Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo	84
QUADRO 5 – Avaliação de Indicadores de Qualidade Ambiental da Barragem Subterrânea.	85

RESUMO

Visando à criação de alternativas para a irrigação de pequenas lavouras em regiões secas, foi introduzida no Estado do Rio de Janeiro a tecnologia de construção de barragens subterrâneas. O presente estudo foi desenvolvido para avaliar sua aplicabilidade e os seus principais impactos, integrando análises físicas do ambiente ao uso de tecnologia de informação. Foram analisadas as características climáticas de séries históricas e do ano pesquisado, determinada a textura do solo, a profundidade da camada de baixa permeabilidade, a altura do lençol freático, a condutividade elétrica da água de irrigação e do extrato de saturação do solo e a condutividade hidráulica da camada saturada do solo. Análises químicas mensais da água armazenada no ano 2005 foram realizadas, com vistas ao uso doméstico e agrícola. Os dados foram integrados em Sistema de Informação Geográfica e tratados com programas de simulação hidrológica. Os resultados indicam que a barragem funciona como um reservatório de fluxo misto, com vazão média de 32 metros cúbicos por dia, sendo reduzida para 5 metros cúbicos por dia, quando cessa o escoamento superficial. A água apresentou boa qualidade química e os resultados da avaliação do Índice de Qualidade Ambiental (LQI) foram favoráveis ao uso da tecnologia. A irregularidade histórica da precipitação e o fato da pesquisa envolver dados de ano chuvoso limitam a utilização generalizada dos resultados.

Palavras-chave: Barragem subterrânea. Impacto ambiental. Água subterrânea.

ABSTRACT

Aiming at developing alternatives for small-scale agricultural irrigation to preserve crops during periods of drought in the dry regions of Rio de Janeiro, the method of underground dams was introduced in that State. The purpose of this study was to evaluate the applicability and the major impacts of this technology, integrating physical analysis of the environment and specific software. Meteorological data was analyzed, including historical series and important information was obtained during the study, such as: soil texture; the low permeability layer depth; water level on the soil profile; electrical conductivity of irrigation water and soil saturation extract; and hydraulic conductivity of the saturated layer. Chemical analysis of water stored during 2005 was performed on a monthly basis, in order to evaluate water quality for family or community needs and for small-scale irrigation. Data was added to a Geographic Information System and input to groundwater simulation software. The results indicate that the dam works as a mixed-flow reservoir, with average discharge of $32\text{m}^3/\text{day}$, decreasing to $5\text{m}^3/\text{day}$ when runoff stops. According to chemical analysis, water quality was considered good and evaluation by Land Quality Indicators indicates positive impact of the technology. It must be pointed out that historical irregular rainfall and data collected during a rainy year will restrict general utilization of this study's results.

Key words: Underground dams. Environmental impact. Groundwater.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável no mundo foi diagnosticada pelos organismos internacionais como um dos problemas ambientais mais graves do século XXI (SHIKLOMANOV, 1998; SERAGELDIN, 2000). Para as Nações Unidas, a expectativa é que até meados da segunda década desse século, mais de 60% da população do mundo estejam vivendo em países com estresse hídrico (LAWLESS; 2003). Tal problema será acarretado não só pela escassez de chuvas, mas também pela deterioração da qualidade da água existente, devido aos despejos de esgoto e lixo nos mananciais hídricos e ao manejo inadequado dos mesmos.

O Brasil encontra-se em uma posição privilegiada em relação às reservas de água, estimando-se que disponha de 11% de água doce superficial do mundo, totalizando 168.870 m³/s (TUCCI *et al.*, 2001). Apesar desse dado, verifica-se que em muitas regiões do Brasil existe um elevado déficit hídrico, causado pela falta de chuvas e pela elevada evaporação, levando a população destas áreas a uma situação de extrema carência de água potável. Entre elas, encontram-se os estados do Nordeste e alguns locais da região Sudeste e Sul. Nessas regiões, a escassez de chuvas tem conseqüências diretas sobre as atividades humanas, condicionando a agropecuária, a indústria e caracterizando o meio ambiente.

O Estado do Rio de Janeiro, situado na costa Sudeste do Brasil, tem clima fortemente influenciado por fatores locais e dinâmicos, apresentando grande diversidade. Embora predominem precipitações relativamente altas, existem regiões do Estado que suportam secas prolongadas (DAVIS; NARGHETTINI, 2001). Entre elas, está incluída parte da Região dos Lagos, situada próxima à brusca inflexão da linha de costa brasileira que ocorre em Arraial do Cabo. Abrange, parcial ou integralmente, os municípios de Cabo Frio, São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo e Araruama.

Objetivando a criação de alternativas para a irrigação de lavouras em regiões freqüentemente atingidas por secas, foi introduzida no Estado do Rio de Janeiro a técnica de construção de barragens subterrâneas. Isto aconteceu em 2002, por meio de um trabalho desenvolvido pela Empresa de Assistência Técnica e de Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro (EMATER-RIO), pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO) e pela Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Meio Ambiente de Iguaba Grande, com recursos financeiros do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF).

Este projeto, denominado Projeto Águas da Terra, visou ao desenvolvimento de técnicas e meios para aumentar a captação e o armazenamento de água, para uso em agricultura familiar, no município de Iguaba Grande. Os resultados preliminares obtidos, com água jorrando freqüentemente pelo sangradouro das barragens, geraram grande interesse na tecnologia, por parte de técnicos e produtores rurais de todo o Estado. Esse fato gerou a necessidade de aprofundar os estudos relativos às suas características físicas e hidrológicas e seus impactos no meio ambiente local, visando à difusão dessa tecnologia no Estado do Rio de Janeiro.

A técnica de construção de barragens subterrâneas é muito antiga e bastante utilizada no Nordeste do Brasil. Trabalhos de pesquisa realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) têm comprovado a eficácia da barragem subterrânea no combate aos efeitos da seca, principalmente pela adequação da tecnologia às condições sócio-econômicas dos pequenos produtores rurais. Estudos conduzidos naquela região registraram um impacto perceptível das barragens subterrâneas na melhoria da qualidade alimentar dos agricultores, em consequência do aumento da produção, da produtividade e da diversificação das culturas (SILVA *et al.*, 1998).

Os impactos ambientais da construção de barragens são bem conhecidos e discutidos no meio científico, principalmente pelos problemas causados pela inundação de áreas a montante do barramento e pelo rompimento de barragens por falhas de projeto. Por serem construídas dentro do solo e normalmente serem de pequeno porte, as barragens subterrâneas parecem causar pequeno impacto ambiental. Porém, como são estruturas que modificam o ambiente natural, interferindo no processo de circulação de água, precisam ser avaliadas visando à manutenção e a sustentabilidade do aquífero barrado.

A presente dissertação apresenta uma abordagem integrada na avaliação do sistema hidrológico formado pela implantação de uma das barragens subterrâneas do Projeto Águas da Terra. O potencial hidráulico da obra foi analisado, verificando-se a quantidade e a

qualidade da água armazenada. Destacam-se inferências sobre as modificações provocadas no solo, relativas à sua ocupação e aos processos de salinização, bem como a avaliação da

indicadores de sustentabilidade ambiental a diversas atividades antrópicas. A avaliação dos impactos ambientais de projetos agropecuários constitui um problema complexo, acarretado principalmente pela distância de localização das propriedades rurais e pela variabilidade de ecossistemas envolvidos. Seus indicadores precisam aliar boa precisão à praticidade para a captação e tratamento de dados, de modo que possam ser comparados e aplicados com facilidade e confiabilidade, em diagnósticos locais, regionais e globais. Para avaliar a aplicabilidade dos indicadores de qualidade ambiental aos projetos agropecuários é necessário aplicá-los com mais freqüência, mesmo no caso de pequenas intervenções no meio ambiente.

A agricultura é uma das grandes consumidoras de água doce do mundo, sendo responsável por cerca de 70 % do consumo (WWAP, 2001). As avaliações técnicas visando à utilização dos recursos hídricos para a irrigação geralmente consideram apenas o atendimento às necessidades hídricas das lavouras, desconsiderando as demandas dos outros seres vivos presentes no ecossistema. Por outro lado, a dificuldade de mensuração da disponibilidade hídrica, principalmente daquela armazenada dentro do solo, invisível, tem levado freqüentemente a erros de avaliação e ao uso incorreto dos recursos hídricos. O uso de água para irrigação pressupõe a disponibilidade de água em quantidade adequada às necessidades hídricas das lavouras. Para avaliar o potencial hidráulico de uma barragem subterrânea no fornecimento de água para uso em irrigação, é necessário avaliar o meio aquífero barrado em relação à sua capacidade de armazenamento e a disponibilidade de vazões específicas.

Os problemas de salinização e de impermeabilização de solo pelo uso de água inadequada em irrigação ocorrem com bastante freqüência, principalmente em regiões de clima seco. A gestão inadequada dos recursos hídricos na agricultura foi responsável pela salinização de cerca de 20% das terras irrigadas do planeta (CSD, 1997). Uma barragem subterrânea é uma obra que interfere no processo de circulação de água no solo, modificando o ambiente natural e causando mudanças positivas ou negativas. A avaliação integrada desses efeitos sobre o solo, sobre o homem e sobre outros organismos vivos do ecossistema é que possibilitará a realização de um balanço da qualidade ambiental da obra.

A localização da barragem subterrânea pesquisada, em micro-região freqüentemente afetada por secas (FREITAS *et al.*, 2005) e sujeita a ocorrência de problemas de salinidade na água subterrânea (RESUB, 2000b), indica a necessidade de analisar suas características químicas ao longo das estações do ano, de modo a conhecer os potenciais riscos de uso dessa água para irrigação e caracterizar alguns aspectos básicos referentes à sua potabilidade, para eventual uso doméstico.

A tecnologia da informação tem introduzido grandes modificações nas formas de trabalho, em todas as atividades humanas. No processo de definição das características hidrológicas de uma área, o uso de *software* para simulação de funcionamento de aquíferos associado ao uso de Sistema de Informação Geográfica, aplicados aos dados de mapeamento digital e aos dados físicos do local, pode significar um grande avanço, viabilizando a melhoria da qualidade dos projetos de exploração agropecuária envolvendo o uso de sistemas aquíferos e também dos processos de avaliação dos mesmos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DA BARRRAGEM PESQUISADA

2.1 LOCALIZAÇÃO, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A área estudada localiza-se na costa Leste do Estado do Rio de Janeiro, na bacia hidrográfica do Rio Una, situada na divisa dos municípios de Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia, na Região dos Lagos (Figura 1). Essa bacia tem 480 km² de área, abrangendo boa parte dos Municípios de São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Iguaba Grande e uma parcela menor dos Municípios de Araruama e de Armação dos Búzios. Faz limite ao Norte com a bacia hidrográfica do Rio São João, ao Sul e a Oeste com a bacia hidrográfica da Lagoa de Araruama, a Leste com a península de Búzios. É constituída de uma grande baixada circundada por colinas, tendo as Serras da Sapeatiba e da Sapeatiba Mirim como principais elementos notáveis da paisagem (CILSJ, 2004).

A bacia do Rio Una tem uma formação geológica bem antiga, principalmente em sua porção mais alta, onde aflora a Unidade Região dos Lagos, formada no período pré-Cambriano, representada por gnaisses graníticos a granodioríticos e migmatitos de coloração branca a cinza, de granulação média a grossa. Nas baixadas predominam formações recentes, do Quaternário, compostas por areias quartzosas, às vezes situadas acima de rochas pré-Cambrianas (SILVA, 2001; RESUB, 2001).

Essa bacia hidrográfica apresenta três unidades geomorfológicas básicas no Domínio Geoambiental I, da Faixa Litorânea, caracterizada por Dantas (2001) e ilustrada no Mapa Geoambiental da Região dos Lagos (DANTAS *et al.*, 2001). São as regiões dos Maciços, das Superfícies Aplainadas e das Baixadas da Região dos Lagos, conforme pode ser visto na Figura 2. A Unidade Geomorfológica dos Maciços da Região dos Lagos está representada pelas Serras da Sapeatiba e da Sapeatiba Mirim, caracterizando-se por alinhamentos serranos, com vertentes predominantemente retilíneas e côncavas, com topos de cristas alinhados ou

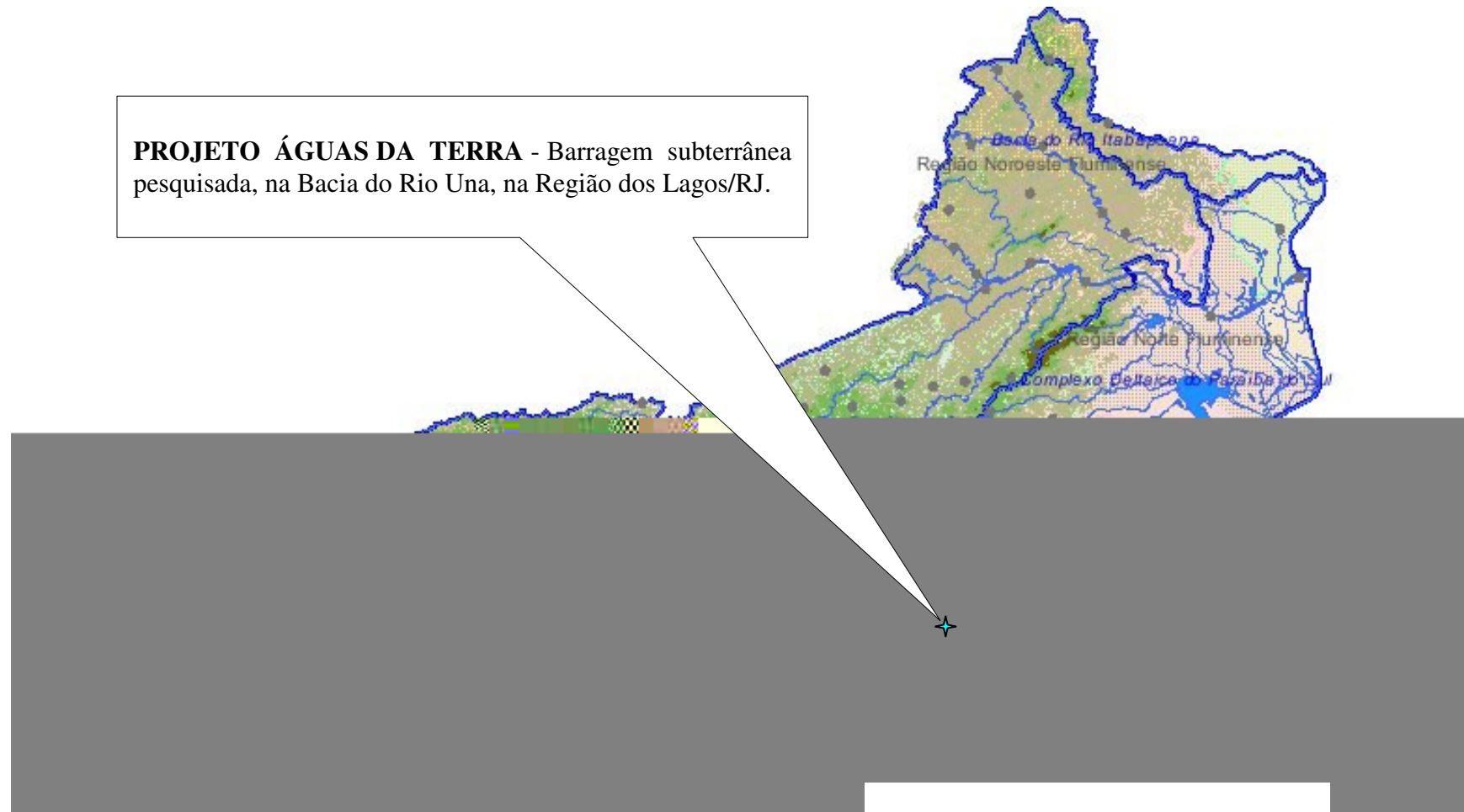
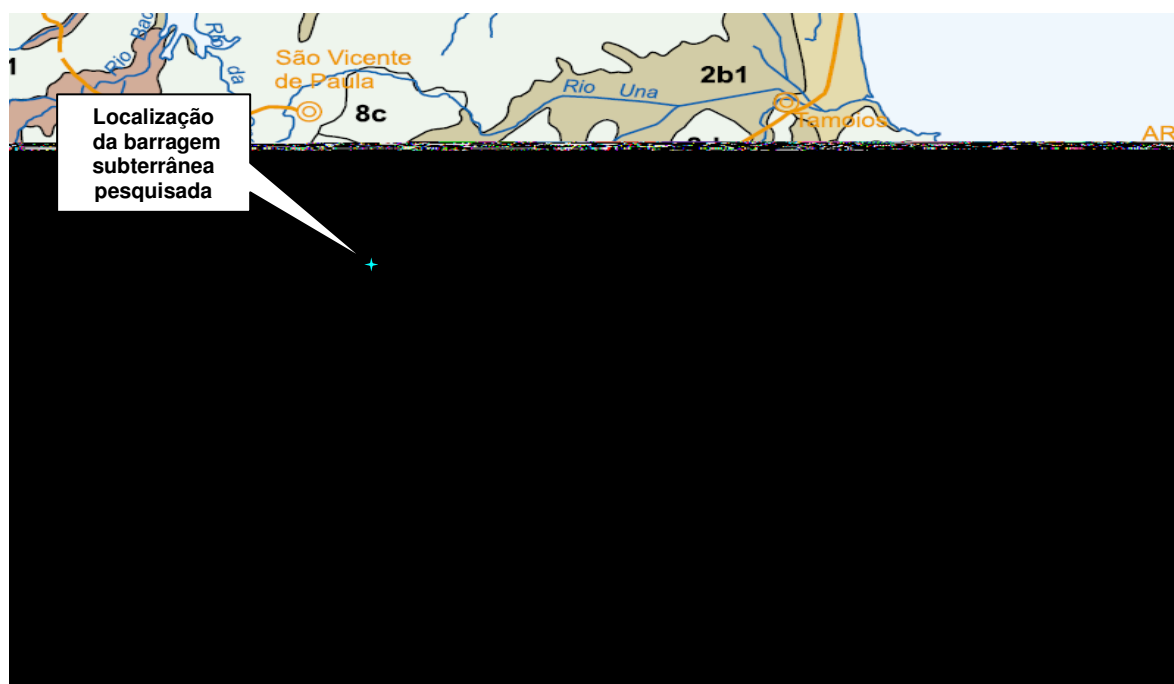


FIGURA 1 - Mapa das Grandes Bacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro, destacando a localização do Projeto Águas da Terra.
Escala aproximada 1:2.400.000. Fonte: Fundação CIDE, 2006.

levemente arredondados, colúvios e depósitos de tálus, apresentando densidade de drenagem alta, com padrão paralelo a dendrítico e baixa altitude (altitude máxima de 297 m). A Unidade Geomorfológica das Superfícies Aplainadas da Região dos Lagos presente nesta bacia hidrográfica caracteriza-se por colinas muito pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva sedimentação de colúvios e alúvios. A área da pesquisa situa-se nessa unidade geomorfológica, como destacado na Figura 2.

A Unidade Geomorfológica das Baixadas da Região dos Lagos é composta por planícies flúvio-lagunares e superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e lagunares. As planícies fluviais apresentam terrenos mal drenados, com lençol freático alto, sujeitos ao alagamento e as planícies aluviais, superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais. Predominam nestas áreas depósitos formados por silte e areias quartzosas a feldspáticas, com granulometria fina a conglomerática, mal selecionadas (DANTAS, 2001; RESUB, 2001).



LEGENDA: Domínio Geoambiental da Faixa Litorânea (I)

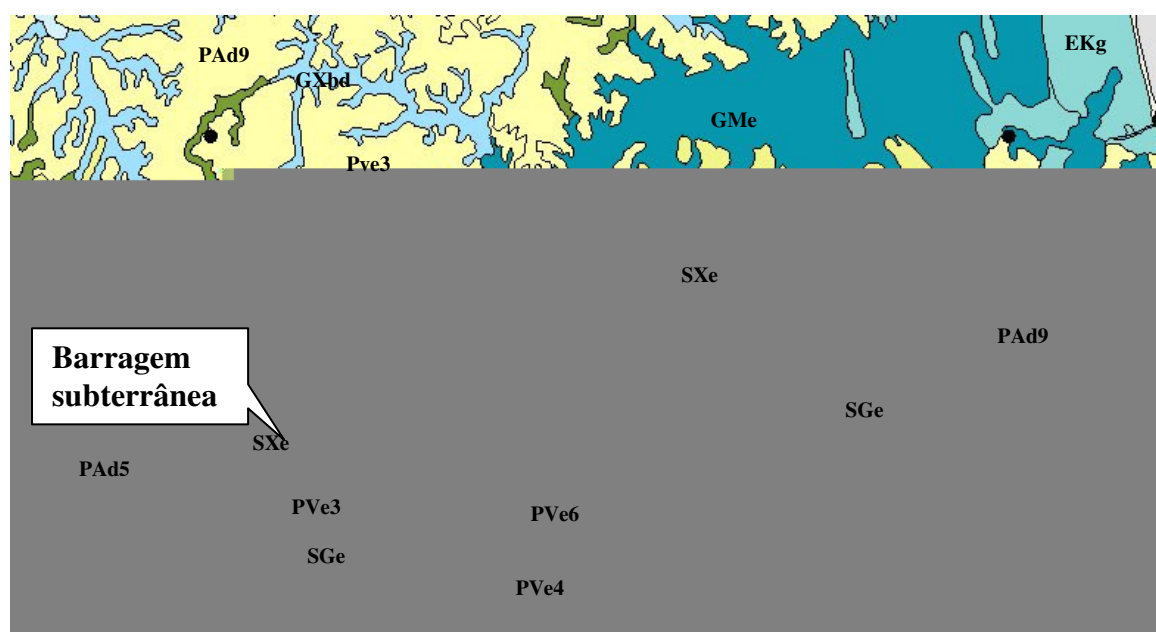
2b1/2b2 - Planícies Flúvio-lagunares (brejos)	8a1/8a2 - Colinas Baixas
4b1/4b2 - Planícies Fluviais (várzeas)	8c - Colinas Baixas
5a - Planícies Costeiras	8d - Colinas Baixas
5b - Salinas	10c - Morrotes e Morros Baixos
5c - Dunas	13b1/13b2 - Serras Alinhadas
7c - Colinas Isoladas	14a2/14a3 - Maciços Alcalinos

FIGURA 2 – Mapa Geoambiental da Região dos Lagos (recorte), destacando a localização da barragem subterrânea pesquisada. Escala aproximada: 1:325.000. Fonte: Projeto Rio de Janeiro (DANTAS *et al.*, 2001).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO E DA VEGETAÇÃO

Na bacia hidrográfica do Rio Una predominam os Gleissolos, os Planossolos e os Argissolos, como podem ser visualizados no Mapa de Solo e de Vulnerabilidade das Terras da Região dos Lagos (Figura 3).

Os Planossolos ocupam uma fração expressiva dos solos da bacia, sendo constituídos de Planossolos Hidromórficos Eutróficos arenicos e de Planossolos Hidromórficos Eutróficos flúvicos solódicos. Estes solos caracterizam-se pela presença de horizonte superficial e subsuperficial de textura leve, contrastando com o horizonte B adensado, geralmente de textura argilosa, constituindo-se em camada de restrição a percolação profunda da água da chuva (EMBRAPA, 1999).



LEGENDA:
 EKg – Neossolo
 PAd5 e PAd9 – Argissolo Amarelo distrófico
 SGe – Planossolo Hidromórfico eutrófico flúvico
 GMe e GXbd – Gleissolo Háplico
 PVe3, PVe4 e PVe6 – Argissolo Vermelho eutrófico
 SXe – Planossolo Hidromórfico eutrófico arenico

FIGURA 3 – Mapa de Solos e Vulnerabilidade das Terras da Bacia do Rio Una (recorte). Escala aproximada: 1:230.000. Fonte: EMBRAPA, 2006.

Nas áreas mais baixas da bacia do Una predominam os Gleissolos Háplicos Eutróficos, de muito alta vulnerabilidade, com a ocorrência de elementos tóxicos e vegetação original de floresta tropical higrófila de várzea. Em algumas regiões da bacia, principalmente

nos morros, ocorrem argissolos, constituídos por material mineral com argilas de atividade baixa e horizonte B textural (EMBRAPA, 1999).

Segundo a EMBRAPA (2006), os solos da área de estudo classificam-se como Planossolos Hidromórficos Eutróficos arênicos, destacado na Figura 3. Este tipo de solo apresenta textura arenosa a argilosa, horizonte A moderado, argila de atividade alta, presença de camadas adensadas em subsuperfície e baixa vulnerabilidade. Neles, o relevo é suave ondulado a plano e a vegetação original de floresta tropical subcaducifolia.

Ao longo da segunda metade do século XX, a Região dos Lagos Fluminense sofreu forte processo de desmatamento, com uma redução de mais de 30% da cobertura vegetal natural (BOHRER, 2003). Isso contribuiu para a redução do processo de infiltração de água na matriz dos solos, diminuindo em consequência o seu potencial de captação e armazenamento de água.

2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O clima da região foi classificado por Golfari (1980), usando o método de Thornthwaite, como tipo tropical subúmido seco. Para Barbieri (1984), que utilizou o método de Köppen, o mesmo é uma transição entre o clima tropical com chuvas de verão e seca de inverno e o clima semi-árido quente. As temperaturas ficam acima de 20°C e são regularmente distribuídas. A precipitação situa-se abaixo de 1000 mm/ano e os ventos são freqüentes.

O clima local apresenta características diferenciadas em relação às demais regiões litorâneas vizinhas, constituindo-se em verdadeiro enclave de clima seco em meio a um contexto climático regional úmido. Pesquisadores acreditam que este atributo climático esteja associado a diversas características locais. Entre elas destacam-se: o afastamento em relação a Serra do Mar, a mudança brusca de direção da linha da costa na altura de Arraial do Cabo e os freqüentes ventos de nordeste (BARBIERI, 1975; SILVA, 1973; TURCQ *et al.*, 1999).

2.4 RECURSOS HÍDRICOS

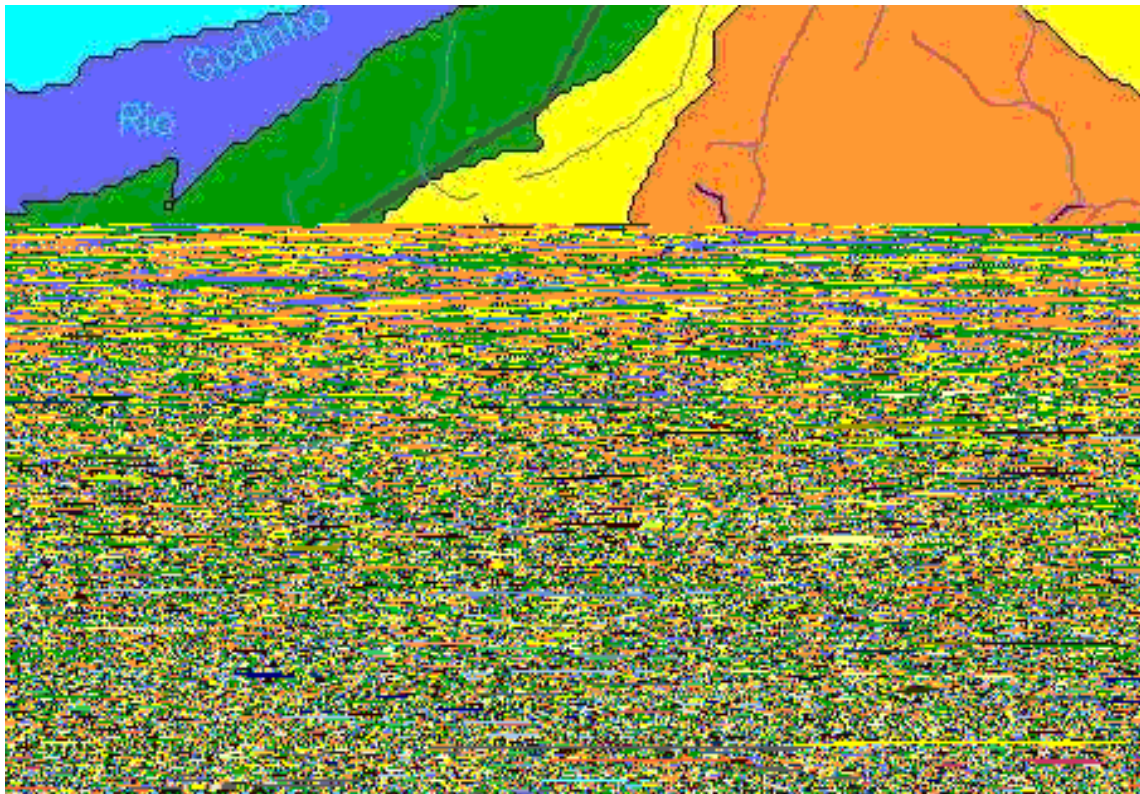
A bacia hidrográfica do Rio Una faz parte da unidade de planejamento e gestão ambiental denominada de Macro-Região Ambiental 4, composta pelas bacias da Região dos Lagos, do Rio São João e zona costeira adjacente (WEBER, 2001). O rio Una nasce no

município de Araruama, no Morro do Igarapiapunha, tendo como formador o Rio Godinho e curso aproximado de 30 Km. Na parte colinosa, recebe a contribuição dos Rios Conceição e Carijó e do Córrego Fundo. Ao longo do seu curso, por terras mais baixas, recebe a contribuição dos Rios Papicu (Canal do Papicu) e Flexeiras (Canal Flexeiras), e dos Córregos do Pau Rachado, do Bogá e do Retiro. Deságua no Oceano Atlântico leste, no Município de Cabo Frio.

A maior extensão do rio Una corta áreas de baixada, que originalmente constituíam-se em um grande brejo, composto pelos Pântanos do Itaí, do Trimumu e do Ramalho. Estas áreas passaram a contar com vários canais de drenagem, a partir das obras de macrodrenagem realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras (DNOS), com a finalidade de saneamento básico, para prevenção e combate à malária. Esta drenagem artificial realizada na região das planícies flúvio-lagunares, canalizando o Rio Una e afluentes e abrindo canais secundários, promoveu um rebaixamento do lençol freático, reduzindo o potencial hídrico da bacia e incorporando ao processo produtivo áreas pantanosas e de vegetação florestal (LAMÊGO, 1974).

Os aquíferos subterrâneos dessa bacia hidrográfica estão relacionados tanto a rochas pré-cambrianas, quanto a seqüências quaternárias, sendo classificados como aquíferos fraturados e intergranulares. Nela predominam os aquíferos fissurais, intensamente fraturados, de média-alta declividade e baixo potencial hídrico. Associados aos sedimentos fluviais dos rios Papicu e Flexeiras ocorrem aquíferos livres, com médio potencial hídrico, que apresentam poços produtivos, com água de qualidade razoável a boa (RESUB, 2001). A barragem subterrânea estudada localiza-se na microbacia do Córrego Fundo, afluente do Rio Papicu, situada na região colinosa da bacia do Rio Una. Nessa área os aquíferos classificam-se como fissural, intensamente fraturado, com baixo potencial hídrico (RESUB, 2000a).

Em relação à qualidade da água subterrânea, verifica-se a existência de problemas de salinidade em parte da bacia (Figura 4). A maioria dos rios e córregos que cortam as áreas de baixada apresentam altas concentrações de sais dissolvidos, principalmente no período seco (RESUB, 2001). Essa influência salina nas regiões baixas deve-se a uma série de fatores, entre os quais se destacam a entrada de água do mar pelo canal do Rio Una nos períodos de maré alta, as características climáticas locais e a ocorrência de aerossóis marinhos, associado à presença de perfil de embasamento gnáissico regional, que mergulha da costa para o interior, formando extensa planície flúvio-lagunar (LAMÊGO, 1974). A área de estudo encontra-se em localização transitória entre as águas consideradas doces e salobras, como destacado na Figura 4, a seguir.



LEGENDA:

- - Condutividade elétrica de 0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 - - Condutividade elétrica de 250-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 - - Condutividade elétrica de 500-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 - - Condutividade elétrica de 1000-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 - - Condutividade elétrica de 2000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- * 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens/centímetro) equivale a 0,001dS/m (deciSiemens/metro)

FIGURA 4 – Mapa de Pontos e Qualidade das Águas Subterrâneas da Região dos Lagos. Recorte enfocando o local onde foi implantada a barragem subterrânea. Fonte: RESUB, 2000b.

2.5 A BARRAGEM SUBTERRÂNEA PESQUISADA

A barragem subterrânea pesquisada tem 95 metros de comprimento e profundidade variando de 1,0 a 1,5 metro. Foi construída em solo pouco profundo, em local de topografia levemente ondulada, com declividade variando de 1,7% a 0,5%. É de modelo desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco e do Centro Nacional de Pesquisa do Trópico Semi-Árido da EMBRAPA (COSTA, 2004; SILVA *et al.*, 2001; BRITO *et al.*, 1989). Consiste de estrutura de polietileno instalada dentro do solo, em linhas de drenagem natural, no sentido transversal ao escoamento da água das chuvas, afixada na camada de baixa permeabilidade do solo, possibilitando a captação e o armazenamento de volumes consideráveis de água da chuva sob o solo. O excesso de precipitação é escoado pelo

sangradouro construído no ponto mais baixo da barragem, tendo 2,5 metros de largura, 7,5 metros de comprimento e 50 cm de altura, sendo constituído por tela de arame colocada sobre manta plástica e recoberta por massa de concreto.

O funcionamento da barragem subterrânea está ilustrado na Figura 5. Nela visualiza-se a elevação do nível do lençol freático interceptado pelo septo impermeável ou parede da barragem, e a superfície do solo a montante, que pode ser aproveitada para o plantio. Na Figura 6 verificam-se detalhes do processo de construção das barragens subterrâneas do Projeto Águas da Terra, destacando-se na Figura 6a a vala aberta para instalação do septo impermeável com o lençol freático fluindo no fundo, logo acima da camada de baixa permeabilidade, e na Figura 6b verifica-se o fechamento do corpo da barragem, com o retorno de terra ao solo após a instalação do septo impermeável.

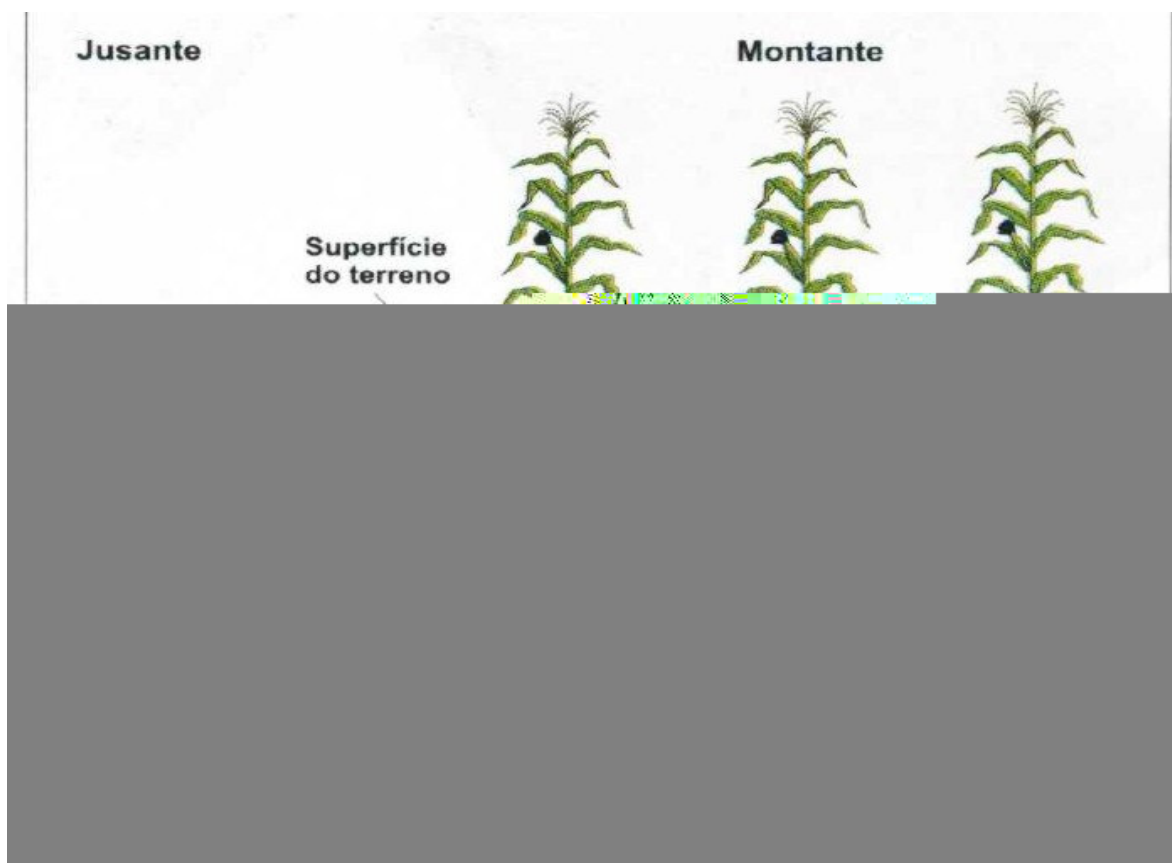


FIGURA 5 – Esquema de funcionamento da barragem subterrânea. Fonte: EMBRAPA/CNPTSA (SILVA *et al.*, 2001).

Estudos desenvolvidos por pesquisadores na Região Nordeste do Brasil indicam aumento significativo da produção agrícola da pequena propriedade rural após a implantação de barragens subterrâneas (BRITO *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 1998). O aproveitamento para o

plantio do solo úmido na região a montante da barragem, possibilita o aumento da produção das culturas e também a introdução de novas lavouras mais exigentes em água. A água acumulada na barragem também pode ser captada em poços construídos a montante, podendo ser utilizada para irrigação superficial de lavouras instaladas na bacia de contribuição, para consumo animal e até mesmo para uso humano.

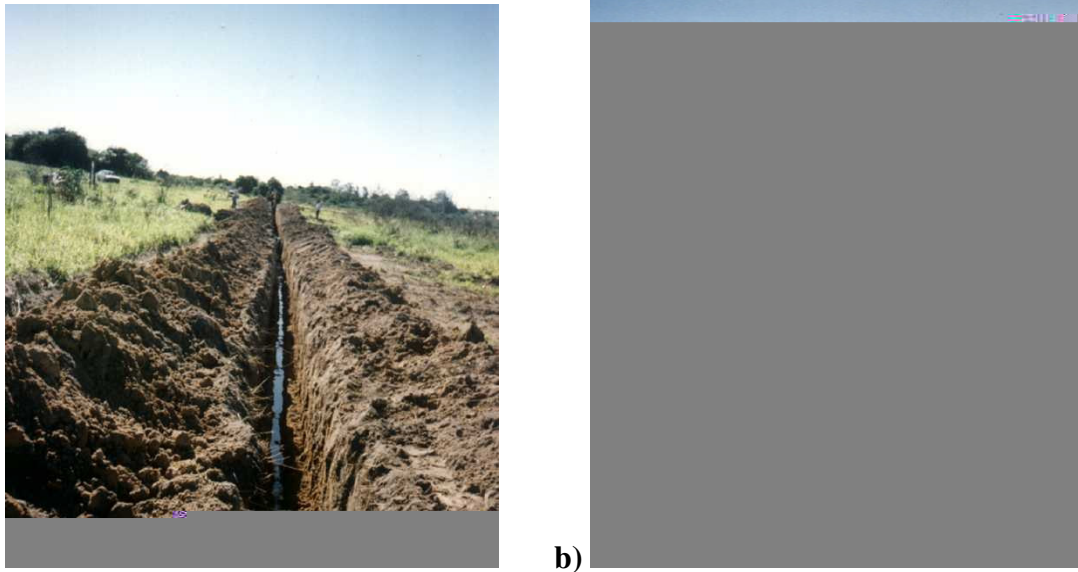


FIGURA 6 – Detalhes do processo de construção da barragem subterrânea: (a) sulco escavado para implantação da barragem subterrânea, com o lençol freático livre, visível no fundo da vala; (b) instalação do septo impermeável.

Segundo Costa (2004), a barragem subterrânea quando comparada à barragem superficial apresenta uma série de vantagens, destacando-se a redução de perdas de água por evaporação, a facilidade de construção e seu baixo custo e a não redução da área agricultável para o armazenamento de água. Em relação aos problemas, este autor ressaltou os riscos de salinização do solo quando a obra não é corretamente implantada e manejada. Para evitar este problema é recomendável a realização de análise de qualidade da água subterrânea, antes da construção da barragem e a instalação de estruturas para drenagem interna.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho levou em consideração a multiplicidade de informações necessárias para avaliar, qualitativa e quantitativamente, as barragens subterrâneas do Projeto Águas da Terra. Foram utilizadas informações regionais e locais, envolvendo a bacia hidrográfica, a bacia hidráulica e uma das barragens subterrâneas do projeto. A barragem subterrânea pesquisada foi implantada em linhas de drenagem natural na microbacia do Córrego Fundo, situada na parte alta da Bacia do Rio Una, na localidade do Arrastão das Pedras, divisa entre os municípios de Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia. Essa barragem foi escolhida por apresentar uma bacia de contribuição menor e também por situar-se em ponto mais alto da bacia hidrográfica do rio Una.

As características da bacia de contribuição, com área pequena, e o funcionamento da barragem, permitiram o desenvolvimento de uma visão integrada do processo de captação e utilização de água superficial, subsuperficial e subterrânea, nas condições edafoclimáticas e fisiográficas locais. O entendimento do funcionamento desse sistema hidrogeológico foi conseguido através de estudos climáticos, pedológicos e hidrológicos, associados ao uso de mapas digitais e *software* específicos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ÁREA

Para a caracterização climática da área de estudo, foram utilizados dados da estação meteorológica de Iguaba Grande, situada no Campus Experimental da Universidade Federal Fluminense (latitude 22° 50` S; longitude 42° 10` W; 5,8m de altitude), no município de Iguaba Grande. Essa estação foi escolhida por situar-se a 7,5 Km da área do projeto e pela disponibilidade de dados climáticos de 30 anos.

Tendo em vista a necessidade de conhecer detalhadamente o regime das precipitações pluviométricas e as condições de evapotranspiração, para avaliar o potencial hidrológico da barragem subterrânea, foram efetuados diversos cálculos e tratamentos estatísticos nos dados meteorológicos disponíveis da citada estação. Foram estabelecidas as normais climatológicas de precipitação, de temperatura média compensada, temperaturas máxima e mínima e umidade relativa do ar, do período entre 1970 a 1999. Foram analisados dados de chuva máxima em 24 horas do período entre 1970 a 1995. Foi determinada a evapotranspiração pelo método de Thornthwaite (1948) e o Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando capacidade de armazenamento de 100 mm. Calcularam-se os índices de umidade e de aridez pelas equações (1), (2) e (3), abaixo descritas, e em seguida classificou-se o clima local. Para os cálculos e para a representação gráfica foram utilizadas planilhas eletrônicas do *Excel*, desenvolvidas por Rolim e Sentelhas (1998), designadas Balanço Hídrico Normal e Balanço Hídrico Seqüencial.

$$I_h \text{ (índice hídrico)} = 100 S/n, \text{ onde } S \text{ é o excesso de água e } n \text{ a necessidade,} \quad (1)$$

$$I_a \text{ (índice de aridez)} = 100 d/n, \text{ onde } d \text{ a deficiência de água e,} \quad (2)$$

$$I_m \text{ (índice de umidade)} = I_h - 0,6 I_a \quad (3)$$

O clima foi também analisado em relação ao desenvolvimento vegetal utilizando a Classificação Bioclimática de Gaussen. Segundo Galvão (1967), essa classificação permite uma boa correlação entre o clima e a vegetação de uma região. Para isso, compararam-se os valores médios de precipitação com os valores obtidos para o dobro da temperatura média. De posse destes dados, montou-se o Diagrama Ombrotérmico Normal e calculou-se o índice xerotérmico, utilizando os valores médios mensais de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e de dias sem chuva. O índice xerotérmico é calculado pelo produto do número de dias sem chuva de cada mês multiplicado pelo fator de correção de umidade relativa do ar (**K**), calculado pela fórmula (4) a seguir descrita, onde H é a umidade relativa do ar.

$$K = (230 - H)/200 \quad (4)$$

No cálculo desse índice foi desconsiderada a contribuição do orvalho e do nevoeiro pela indisponibilidade desses dados. Em seguida, foi feita a classificação bioclimática (GAUSSEN; BAGNOULUS, 1963) e foram definidos os períodos secos para cada ano da série histórica.

Para verificar o comportamento da precipitação anual na série histórica de dados, foram calculadas as anomalias anuais da precipitação, subtraindo-se do valor da normal os valores das precipitações anuais. Para melhor visualização dos resultados foram calculados os valores percentuais das anomalias e apresentados na forma gráfica.

Devido à grande variabilidade de características das precipitações no local pesquisado e à necessidade de fazer uma avaliação integrada da modificação ambiental promovida pela implantação da barragem subterrânea, concluiu-se ser mais adequada a utilização exclusiva dos dados climáticos do ano pesquisado nas análises de potencial hidrológico. Com esse objetivo foi instalado um pluviômetro e um termômetro e anotados os dados de precipitação diária e de temperatura média diária durante o ano 2005 (Figura 7). Os dados obtidos foram utilizados para a elaboração de gráficos de precipitações diárias e mensais e para o cálculo do balanço hídrico (THORNTHWAITE E MATHER, 1955). Os dados climáticos coletados no período pesquisado foram utilizados para a realização de inferências relativas ao acúmulo de água na barragem, a vazão diária no sangradouro e também na avaliação da qualidade da água armazenada no ano 2005.

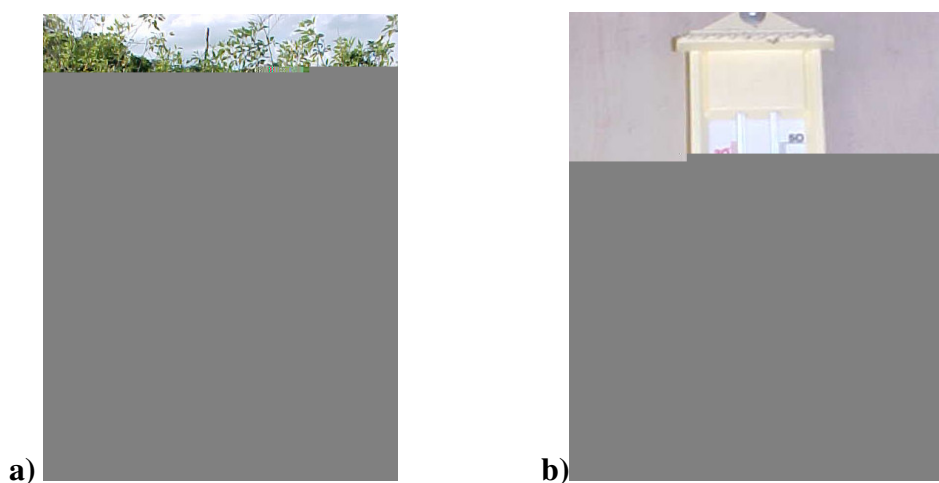


FIGURA 7 – Equipamentos utilizados para avaliação climática da área de estudo: (a) pluviômetro artesanal; (b) termômetro de temperaturas mínimas e máximas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

3.2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA

O termo bacia de contribuição no presente trabalho foi usado como sinônimo de bacia de drenagem. As dimensões da bacia de contribuição foram determinadas no campo, por meio

de caminhamento iniciado na barragem, seguindo pelas linhas de drenagem, até atingir o encontro de dois pequenos córregos e uma barragem de terra. A partir desse ponto realizou-se caminhamento sobre as vertentes, marcando alguns pontos de destaque nos divisores de água, com auxílio de Sistema de Posicionamento Global (*GPS*). Estas coordenadas foram locadas na carta topográfica em meio digital do IBGE, folha SF-23-Z-B-VI-4 e tratadas com o *software* gerenciador de banco de dados geográficos, *ArcView* 3.1. Com base no mapa elaborado com este programa foi possível definir a bacia hidrográfica, a bacia de contribuição e a bacia hidráulica, além de localizar os poços de observação e calcular parâmetros morfométricos importantes para a caracterização hidrológica da área.

3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA

O termo bacia hidráulica foi usado para caracterizar a região do solo com água acumulada por efeito da barragem subterrânea. A bacia hidráulica foi definida a partir de sondagens feitas em diversos pontos da área, sendo marcados os pontos de amostragem em locais situados no talvegue e em linhas paralelas a este, traçadas a partir das extremidades da barragem e do sangradouro. Também foram locados alguns pontos de controle em alinhamentos perpendiculares à barragem, partindo das extremidades para a região a montante. Foram coletadas amostras deformadas de solo em 13 pontos representativos, situados na região da bacia hidráulica da barragem subterrânea. A determinação do número de pontos de sondagem de solo baseou-se no valor recomendado para amostragem de solo e também nas condições das amostras no momento da coleta.

Alguns parâmetros físicos do solo foram determinados em análises laboratoriais feitas em amostras deformadas de solo, coletadas em camadas de 20 cm, com trado tipo holandês, iniciando a amostragem na camada superficial até atingir 1,20 m de profundidade. Nestas amostras foram feitas análises granulométricas pelo método da pipeta e determinada a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997). Ao alcançar a camada de solo saturado, a consistência do solo não permitiu a continuidade da amostragem, pois o mesmo escorregava do trado.

Foram coletadas também algumas amostras indeformadas de solo, em pontos da bacia de contribuição próximos à bacia hidráulica, com auxílio de anel de Kopecky. Nestas amostras foi calculada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico e a porosidade

total a partir dos valores obtidos de densidade do solo e das partículas e da aplicação da fórmula (5), abaixo descrita:

$$P_T = (1 - d_s / d_p) * 100 \quad (5)$$

onde P_T é a porosidade total (%), d_s é a densidade do solo (Kg/dm^3) e d_p é a densidade das partículas (Kg/dm^3). A porosidade efetiva do solo foi estimada com base em amostragem indeformada de solo, feita na bacia de contribuição, em dois pontos laterais próximos à bacia hidráulica. As amostras foram coletadas em trincheiras, com o auxílio de anéis volumétricos, por camada de 20 cm, incluindo a camada de impedimento do solo (Figura 8). Nelas foi determinada a porosidade total e a macro e microporosidade, utilizando o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). Com estes resultados foi estimada a macro e a microporosidade do solo da bacia hidráulica, bem como a porosidade efetiva média. Nos cálculos utilizou-se a média aritmética dos valores de macroporosidade das camadas de solo de textura arenosa, como representativa da porosidade efetiva do solo. Esse critério foi estabelecido para excluir da água explotável do aquífero, aquela necessária ao desenvolvimento das plantas existentes na bacia hidráulica.

A determinação do nível do lençol freático barrado e a estimativa da sua espessura foram realizadas através da sondagem de solo e em poços de observação. Foram construídos 11 poços de observação, nos quais mediu-se o nível do lençol freático em várias datas ao longo do 2º semestre de 2005. Alguns dos poços de observação também foram utilizados para determinação da condutividade hidráulica (item 3.4.2.1). Eles foram construídos com tubo de PVC de 50 mm, instalados a diversas profundidades, de acordo com a sua localização na bacia hidráulica da barragem e com as condições do solo para a construção (Figura 9 a). A região de filtragem dos poços localizava-se entre 5-15 cm do fundo, é constituída de ranhuras revestidas com tela tipo mosquiteiro para impedir o seu entupimento por partículas do solo, sendo o fundo do tubo vedado (Figura 9 b). Na Figura 10 visualiza-se a representação esquemática dos poços de observação construídos na pesquisa.

Para caracterizar a bacia hidráulica da barragem subterrânea, em primeira aproximação, foram utilizados dados construtivos da barragem, empregando-se a fórmula (6) para cálculo do volume de uma pirâmide:

$$V = (L \times H \times C)/3 \quad (6)$$

onde V

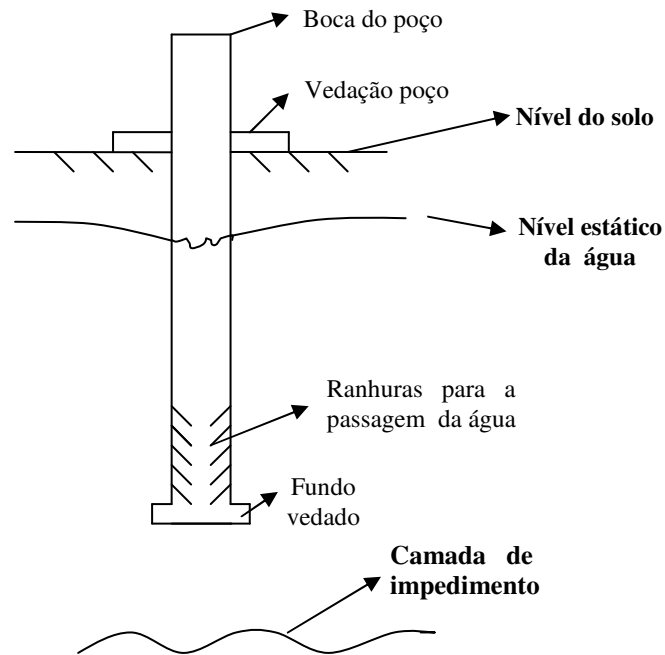


FIGURA 10 – Esquema dos poços de observação construídos para avaliação hidrogeológica da bacia hidráulica da barragem.

3.3 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

3.3.1 VAZÃO NO SANGRADOURO

Para estimativa da vazão que jorra no sangradouro, abastecendo o aquífero a jusante da barragem, foi instalado um linímetro, distando 4 metros do sangradouro, a montante. Nele foi medido diariamente o nível de água durante o ano de 2005, calculando-se a vazão diária superficial no sangradouro e elaborando-se planilhas e gráficos. Para o cálculo da vazão, utilizou-se a fórmula de Ballofett *et al.* (1952), muito empregada para estimar a vazão em vertedores, dada pela equação (7), a seguir descrita:

$$Q = 1,71 * L * H^{3/2} \quad (7)$$

onde **Q** é a vazão no sangradouro (m^3/s), **L** é a largura da soleira (m) e **H** é a altura da lâmina de água vertente (m). A largura da soleira foi estimada com base na largura média da lâmina de água vertente, medida em várias ocasiões do ano 2005.

Para avaliar a variação do lençol freático a montante e a jusante da barragem, foram comparados os dados linimétricos coletados diariamente, obtidos próximo ao sangradouro a montante, com outros provenientes de anotações tomadas a jusante, em poço de observação

pré-existente, instalado logo após o sangradouro, quando a barragem foi construída. Com esses dados foram montadas planilhas e gráficos para melhor visualização dos processos envolvidos. Foram realizados também testes estatísticos correlacionando os dados de vazão no sangradouro e de precipitação medida no pluviômetro, com o auxílio do programa *Curve Expert 1.3*, visando a avaliar o coeficiente de correlação entre estes parâmetros.

3.3.2 VAZÃO DA BARRAGEM

A altura do lençol freático foi avaliada nos 11 poços de observação descritos no item 3.2.2, sendo medido o nível do lençol em várias datas, entre os meses de agosto a dezembro de 2005. Após a tabulação dos dados, elaborou-se gráfico e mapa da superfície potenciométrica. Para a apresentação da distribuição espacial do aquífero, com seus contornos definidos, utilizou-se o *software Surfer*. Trata-se de programa gráfico de plotagem de superfícies tridimensionais e representação de contornos através do uso de grades, que possibilitou a elaboração de um modelo digital de distribuição das isolinhas representativas da superfície do aquífero barrado.

O aproveitamento da água armazenada na barragem é feito através de bombeamento em poço tipo cacimba, situado a 30 m a montante do sangradouro, visualizado na Figura 11 a e detalhado no Apêndice 8.5. Neste poço foi avaliada a vazão de bombeamento (Figura 11 b) e de reposição de água (Figura 11 c). Ele apresenta revestimento em tijolo maciço até 1,60 metros de profundidade e sem revestimento, encravado na camada impermeável do solo a partir desta profundidade. A parte revestida de tijolos apresenta perfurações, com diâmetro variando entre 20 mm a 100 mm, uniformemente distribuídas ao longo de toda a superfície. Além dessas perfurações existem furos entre os tijolos na parte superior do poço, de modo que nessa região ocorre fluxo de água do aquífero para o interior do poço de forma quase livre. A vazão de extração (**Q**) foi determinada através de medição do tempo (T) necessário para encher um recipiente de volume (V) conhecido, repetida 3 vezes, em 3 profundidades, utilizando o sistema moto-bomba de irrigação e em seguida aplicando-se a fórmula (8). A vazão de recuperação da água no poço foi estimada a partir de medição do tempo necessário para haver a reposição da água, após o esvaziamento do poço, calculando-se o volume de água repostos e aplicando-se também a fórmula (8):

$$Q = V / T \quad (8)$$



FIGURA 11 - Poço tipo cacimba utilizado em irrigação, destacando as condições de submersão do mesmo (a) e detalhes das medições de vazão (b e c).

3.3.2.1 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica, também conhecida como coeficiente de permeabilidade do solo, define as condições de fluxo de água no solo constituinte da bacia hidráulica da barragem subterrânea. Corresponde ao volume de água que se move através do meio poroso (solo), por unidade de tempo, sob um determinado gradiente hidráulico. Envolve as propriedades físicas do solo e do fluído e varia de valores máximos, atingidos no solo saturado a mínimos, quando o solo encontra-se seco (REICHARDT; TIMM, 2004).

Os valores de condutividade hidráulica do solo da bacia hidráulica foram estimados em *slug tests* realizados em alguns dos poços de observação, com filtro situado na camada saturada do solo, em profundidades variáveis. Na análise matemática dos dados dos testes utilizou-se o método de Hvorslev¹ (1951, *apud* MONTENEGRO *et al.*, 2004), largamente usado para o cálculo da condutividade hidráulica. Este é um método de avaliação da condutividade hidráulica *in situ*, desenvolvido em aquíferos confinados e que aplica-se a aquíferos não confinados, desde que tenham espessura saturada muito maior do que o rebaixamento ou ascensão do lençol próximo à área do teste, sendo a condutividade expressa pela fórmula (9):

$$\mathbf{K} = \mathbf{A}/\mathbf{F}(\mathbf{t2} - \mathbf{t1}) \ln (\mathbf{h1}/\mathbf{h2}) \quad (9)$$

onde **K** é a condutividade hidráulica saturada da região testada (LT-1); **A** a área transversal do furo de sondagem (L²); **F** o fator de forma (L), que depende da geometria e das condições de contorno do teste; **h1** a carga medida no tempo **t1** após o início do teste (L); **h2** a carga medida no tempo **t2**, após o início do teste (L).

¹ HVORSLEV, M. J. *Time lag and soil permeability in groundwater measurements*. Vicksburg, Miss: U. S. Army Corps of Eng. Waterways Exp Stn. 1951. 50 p.

Um dos poços de observação foi construído com o objetivo de determinar a condutividade hidráulica da camada de adensamento, camada de muito baixa permeabilidade, considerada praticamente impermeável. Esse poço, identificado como poço 8, foi perfurado até a camada impermeável do solo (1,5 metro). Para garantir que a condutividade medida de fato representasse apenas a da camada impermeável, instalou-se um tubo de 100 mm de diâmetro, capeando o poço de observação, construído com as mesmas características dos demais. Essas modificações conferiram ao poço características especiais, recebendo água apenas pelo fundo, sem influência de água proveniente das laterais, simulando condições laterais impermeáveis. Acima da área de filtragem do poço, vedou-se o tubo de 100 mm com argila, impedindo o movimento vertical de água proveniente de camadas superiores do solo, garantindo dessa forma a medição da condutividade hidráulica da camada impermeável.

3.3.2.2 Modelagem da barragem subterrânea

As barragens subterrâneas implantadas no Projeto Águas da Terra apresentaram características de barragens mistas, com predomínio das frações subsuperficiais e subterrâneas e pequena lâmina de água próxima ao sangradouro, ilustrado na Figura 12. Considerando que o consumo da água armazenada no lençol freático barrado só ocorre quando não existe escoamento superficial, elaborou-se a modelagem de fluxo subterrâneo apenas para os períodos sem água vertendo no sangradouro. Desprezou-se o caráter superficial da água existente próximo ao sangradouro e em parte do talvegue (Figura 12), caracterizando-a como parte do aquífero subterrâneo. Optou-se por agir dessa forma devido ao pequeno volume ocupado por essa água, e por estar sendo dado tratamento específico ao escoamento superficial em outro item do presente estudo.

A modelagem baseou-se em expressões infinitesimais resultantes da solução das equações governantes do fluxo subterrâneo, dadas pela combinação da equação de continuidade com a lei de Darcy (FREEZE; CHERRY, 1979), cuja expressão geral está representada pela fórmula (10).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ K_x D_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ K_y D_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_z D_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right) \right\} = P + v \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (10)$$

Onde:

K (x,y,z) – Condutividade hidráulica (m/s)

$D(x,y,t)$ – Espessura do aquífero (m)

$h(x,y,t)$ – Potencial hidráulico (m)

$P(x,y,t)$ – Descarga ou abstração (m^3/s)

$v(x,y,z)$ – Coeficiente de armazenamento (adimensional)

t – Tempo(s)

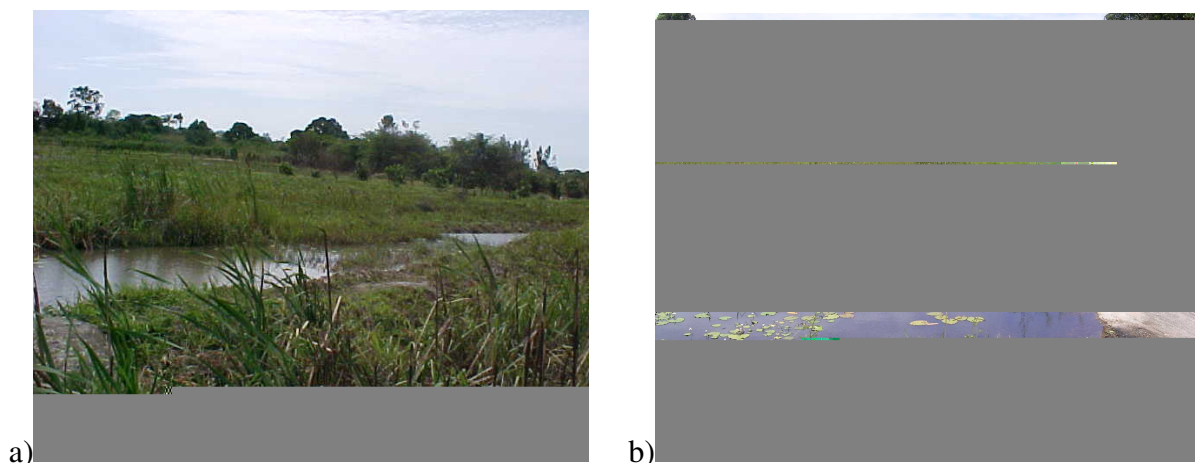


FIGURA 12 - Barragens subterrâneas implantadas pelo Projeto Águas da Terra. (a) barragem do Arrastão das Pedras, objeto da presente pesquisa. (b) outra barragem implantada na localidade de Sapeatiba Mirim.

O modelo numérico computacional *ModFlow 2.8* foi escolhido para modelagem do fluxo aquífero barrado, pela facilidade de utilização e pela disponibilidade do *software* na Universidade. Adota um modelo tridimensional e utiliza o método das diferenças finitas para a representação algébrica das equações governantes do fluxo subterrâneo (MAC DONALD; HARBAUGH, 1988). O modelo é composto por uma série de módulos para a simulação de situações diversas como poços, drenos, recarga, evapotranspiração, etc. A individualização do domínio é feita em malha regular representada por blocos. Estes blocos têm uma única dimensão ou podem sofrer variações, através da subdivisão em frações menores, caracterizando o processo de refinamento da malha (MELLIANDE, 2004).

Os dados de entrada para a modelagem foram obtidos na planta planialtimétrica da área, com as condições de contorno definidas, nas características da recarga e da extração do aquífero e na discretização do domínio. Para a criação da grade foram utilizados os valores extremos das coordenadas geográficas, X e Y, determinadas com GPS e expressas em *Unidade Transversal de Mercator* (UTM), e das cotas da superfície do terreno e da camada de impedimento. A conformação do modelo obedeceu às condições superficiais do solo

avaliadas nas visitas e sondagens de campo, tendo 26 colunas e 20 linhas. A partir do modelo foram estimados os potenciais iniciais em cada ponto da bacia hidráulica e também estabelecidos os potenciais de fluxo controlado nas células do contorno. As cargas hidráulicas medidas nos poços foram irradiadas para as células em volta, de modo a estimar adequadamente o potencial hidráulico do aquífero. Para avaliar a qualidade do modelo numérico foram verificadas a consistência, a convergência e a estabilidade dos resultados fornecidos pelo programa, por meio de gráficos, tabelas, mapas e animações.

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM

Para a avaliação da qualidade da água armazenada na barragem subterrânea foram realizadas coletas mensais da água utilizada para irrigação, extraídas do poço tipo cacimba. Essas amostras foram coletadas até a profundidade de 0,9 metro, com auxílio de amostrador tipo *bailer*, com 41 mm de diâmetro. Foram analisados também alguns parâmetros referentes à potabilidade.

Determinou-se a concentração de sódio, de cloretos, de cálcio, de magnésio, de ferro, de sulfatos, a percentagem de sólidos totais, a condutividade elétrica e o pH. As análises foram realizadas no Laboratório da Companhia Nacional de Álcalis e complementadas pela determinação da concentração de sódio e de algumas medições de condutividade elétrica, realizadas no Departamento de Geoquímica do Instituto de Química da Universidade Federal Fluminense, nos Laboratórios de Biogeoquímica de Ambientes Tropicais e de Geoquímica da Matéria Orgânica.

O pH e a condutividade elétrica das amostras foram medidos no laboratório, com potenciômetro e condutivímetro digital. Para a determinação dos cloretos foi utilizado o método titulométrico de Mohr; para o cálcio e o magnésio, o método complexométrico; para o ferro, o colorimétrico e para o sulfato e sólidos solúveis, o gravimétrico. As análises de concentração de sódio foram feitas no equipamento de absorção atômica Espect AA-300 Varian, utilizando cloreto de potássio como supressor de ionização.

A condutividade elétrica indica a concentração total de sais dissolvidos na água de irrigação, ou seja, a salinidade da água. Normalmente, estes sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas e são provenientes da dissolução de minerais presentes nos solos e nas rochas. Estes sais podem se concentrar e atingir proporções elevadas, à medida que a água se evapora ou é consumida pelas plantas. A qualidade da água de irrigação varia de acordo com

o tipo e a quantidade de sais dissolvidos e depende do solo, do clima e da habilidade humana no manejo do sistema água-solo-plantas. Em geral, os transtornos causados pelo uso freqüente de água inadequada na irrigação são: o acúmulo de sais nas camadas superficiais do solo, prejudicando o fluxo de água para as plantas devido ao potencial osmótico; e/ou a redução da velocidade de infiltração da água no solo, em decorrência do entupimento dos seus poros.

A redução da velocidade de infiltração do solo ocorre quando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) da água de irrigação é alta, ou seja, a concentração de sódio é elevada em relação às concentrações de cálcio e magnésio, prevalecendo o efeito dispersante do sódio, causando a desagregação do solo (AYRES; WESTCOT, 1985). A RAS foi calculada por meio da equação (11), de Richards (1954), utilizando às concentrações de cálcio (**Ca**), magnésio (**Mg**) e sódio (**Na**) encontradas na água de irrigação, expressas em miliequivalentes por litro (meq/L):

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2} \quad (11)$$

Visando a avaliar a existência de correlação entre a qualidade da água e o balanço hídrico do ano 2005, foi aplicado o teste estatístico denominado Análise dos Componentes Principais (ACP), aos dados climáticos e aos teores de elementos químicos presentes na água de irrigação, nos 12 meses do ano 2005, utilizando o programa PCOrd 4.0.

3.5 IMPACTOS SOBRE O SOLO E A VEGETAÇÃO

A avaliação do efeito da barragem sobre o solo e a vegetação do local baseou-se principalmente em documentário fotográfico feito antes e após a implantação do Projeto Águas da Terra e em observações de técnicos e agricultores, captadas em entrevistas ocorridas durante as visitas à área de estudo. As espécies vegetais foram identificadas por meio de análise visual e de determinações expeditas.

Para determinar possíveis processos de acúmulo de sais, por ascensão capilar, foram efetuadas algumas análises de condutividade elétrica no solo, em amostras coletadas na área da bacia hidráulica e em locais no entorno, nas camadas superficiais e subsuperficiais. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, mediante leitura direta da condutividade elétrica no extrato de saturação do solo, com condutivímetro digital.

3.6 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO

A sustentabilidade é um processo que procura a compatibilização entre o desenvolvimento da sociedade e a conservação da natureza. A avaliação da sustentabilidade dos sistemas pode ser vista em diversas escalas, envolvendo desde aquelas que englobam o mundo, os continentes e países, até aquelas envolvendo as bacias hidrográficas, as microbacias e as propriedades agrícolas. Para Conway² (1994, *apud* LEONARDO, 2003), a sustentabilidade é a habilidade de um sistema em manter a sua produtividade, ainda que submetido a estresses ou perturbações. Para Altieri (2004), a agricultura sustentável é aquela que proporciona rendimentos sustentáveis, em longos períodos, por meio de tecnologias e práticas de manejo que melhorem a eficiência biológica do sistema.

Indicadores de sustentabilidade ambiental vêm sendo bastante discutidos na última década, principalmente devido à necessidade de reduzir os impactos negativos da atividade humana sobre os recursos naturais. A mensuração da sustentabilidade envolve o desenvolvimento de diversos tipos de indicadores ambientais e de diversas formas de interpretação dos mesmos. A sustentabilidade da agricultura é vista como um grande problema devido à diversidade de dados e à dificuldade de monitoramento de atividades desenvolvidas dentro de unidades de produção rural, às vezes situadas em locais longínquos.

Em 1995, o Banco Mundial, juntamente com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) e o Grupo Internacional de Consultores em Investigações Agrícolas (CGIAR), tomaram a iniciativa de realização de um grande estudo visando ao monitoramento ambiental, mediante a análise do desempenho dos ecossistemas agrícolas e florestais. Esse programa, denominado *Land Quality Indicators* (LQI), caracteriza a terra como um termo que engloba não só as condições e uso do solo, como também a geomorfologia, o clima, a hidrologia, a fauna e a flora, e até mesmo as obras implantadas pelo homem (DUMANSKI; PIERI, 2000). Essa investigação identificou um largo espectro de atividades e integrou informações biofísicas a questões de desenvolvimento sócio-econômico, visando ao estabelecimento de critérios de análise do meio ambiente possíveis de serem aplicados e analisados em nível mundial, regional e local.

Segundo Dumanski e Pieri (2000), um indicador de qualidade ambiental precisa apresentar as seguintes características básicas: “ser possível a sua mensuração em todos os

² CONWAY, G. R. Sustainability in agricultural development: trade-offs with productivity, sustainability and equitability. *Journal of Farming Systems Research Ext.*, v. 4, n. 2, p. 1-14, 1994.

locais e países; possa refletir mudanças reconhecíveis em períodos de 5 a 10 anos; ser uma função de variáveis independentes e ser possível a sua quantificação e dimensionamento por meio do estabelecimento de taxas e proporções”.

O presente estudo faz uma análise da sustentabilidade ambiental da barragem subterrânea, envolvendo medições de parâmetros físicos da água e do solo, associados ao posicionamento da barragem subterrânea na bacia de drenagem, utilizando indicadores de qualidade de solo do programa LQI. O mesmo foi adaptado às condições de micro escala dessa pesquisa e às limitações impostas pela infra-estrutura disponível para a realização das medições e análises.

O programa LQI não foi aplicado em toda a sua amplitude, tendo sido avaliados apenas seis dos indicadores propostos pelo mesmo, de acordo com as especificidades da área e das possibilidades de realização das análises na presente dissertação. Não foram aplicados testes estatísticos aos dados e o indicador, na maioria dos casos, foi composto por um único dado analisado. Ressalta-se também a impossibilidade da realização de análises para verificação e quantificação da fauna e de teores de matéria orgânica e da avaliação dos indicadores em apenas um ano de monitoramento.

Foram estabelecidas duas opções de medida, para a avaliação dos resultados, positiva e negativa, sendo os indicadores analisados pelos seguintes aspectos:

- Diversidade e intensidade de uso dos recursos naturais na agricultura – avaliadas por meio da medição das vazões, do uso de irrigação e do número de lavouras exploradas.
- Cobertura de solo - avaliada pela modificação das espécies de plantas que se desenvolvem naturalmente na área.
- Qualidade do solo – avaliada mediante medição da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.
- Qualidade da água – avaliada por meio de análises químicas da água em relação a qualidade para uso em irrigação e consumo humano.
- Agro-biodiversidade – avaliada com base no somatório dos indicadores de diversidade e intensidade do uso dos recursos naturais, e de cobertura de solo.
- Poluição e contaminação do solo e da água – avaliadas pela declividade da bacia de contribuição, pelas características do solo e pela altura do lençol freático.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

4.1.1 ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS (1970/1999)

As temperaturas variam de 21°C a 27°C, sendo 20,5°C a temperatura média das mínimas e 27,9°C a temperatura média das máximas. A precipitação média mensal é de 76,7 mm, totalizando 920 mm anuais, atingindo o valor médio mínimo em agosto, de 39,3 mm e o médio máximo em novembro, de 111,1 mm. A umidade relativa do ar varia de 74,6% a 78,7% (Tabela 1).

Os valores encontrados para os índices de aridez (24,1), de umidade (-14,47) e térmico (1244), calculados pelo método de Thornthwaite (1948), enquadram o clima da área de estudo na categoria CIWA'a, tipo tropical subúmido seco, megatérmico, com deficiência moderada de água no inverno e evapotranspiração potencial acumulada no verão de 35%.

A evapotranspiração potencial (ETP) de 1244,0 mm/ano está muito acima da precipitação média anual de 920,0 mm, evidenciando a existência de um elevado déficit hídrico, detalhado no Balanço Hídrico Normal Mensal da tabela 2 (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) e ilustrado nos gráficos da Figura 13 (ROLIM; SENTELHAS, 1998). Os valores mínimos de temperatura média compensada e de evapotranspiração ocorrem no mês de julho e correspondem a 21,1°C e 64,3 mm, respectivamente. No período de inverno, há um aumento relativo do déficit hídrico, causado principalmente pela escassez de chuvas, cuja precipitação mínima ocorre no mês de agosto (Tabela 2).

TABELA 1 – Normais Climatológicas da Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ (1970/1999).

Meses	Precipitação (mm)	U.R. (%)	Temperatura (°C)		
			Temp. Mín	Temp. Máx	Temp. Média
Total	920,2				
Jan.	91,8	76,5	23,6	30,9	26,3
Fev.	62,9	74,6	23	31,8	26,9
Mar.	91,1	77,4	23	30,5	26,2
Abr.	83,3	78,0	21,3	28,6	24,6
Mai.	81,2	78,7	19,4	26,7	22,7
Jun.	49,6	78,3	18	25,4	21,4
Jul.	54,2	77,4	17,7	25,4	21,1
Ago.	39,3	76,3	18,3	25,6	21,4
Set.	70,7	77,5	18,9	25,6	21,8
Out.	78,8	78,2	20	26,6	22,9
Nov.	111,1	78,2	21	27,8	24,0
Dez.	106,2	77,8	22,3	29,4	25,5
Média	76,7	77,4	20,5	27,9	23,7

TABELA 2 – Balanço Hídrico Normal da Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ (1970/1999).

Índices	T oC	P mm	N horas	ETP mm	ARM mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan.	26,3	91,8	13,4	148,79	0,62	92,3	56,5	0,0
Fev.	26,9	62,9	13,0	144,63	0,27	63,2	81,4	0,0
Mar.	26,2	91,1	12,5	142,16	0,17	91,2	50,9	0,0
Abr.	24,6	83,3	11,8	108,17	0,13	83,3	24,8	0,0
Mai.	22,7	81,2	11,2	83,69	0,13	81,2	2,5	0,0
Jun.	21,4	49,7	10,7	65,40	0,11	49,7	15,7	0,0
Jul.	21,1	54,2	10,6	64,34	0,10	54,2	10,1	0,0
Ago.	21,4	39,3	11,0	69,07	0,07	39,3	29,7	0,0
Set.	21,8	70,7	11,5	74,36	0,07	70,7	3,7	0,0
Out.	22,9	78,7	12,2	93,82	0,06	78,7	15,1	0,0
Nov.	24,0	111,1	12,9	109,62	1,54	109,6	0,0	0,0
Dez	25,5	106,2	13,3	139,76	1,10	106,6	33,1	0,0
TOTAIS	284,8	920,2	144,0	1243,80	4	920,2	323,6	0,0
MÉDIAS	23,7	76,7	12,0	103,65	0,4	76,7	27,0	0,0

* T - temperatura, P - precipitação, N - fotoperíodo, ETP - evapotranspiração, ARM - armazenamento, ETR - evapotranspiração real, DEF - déficit hídrico e EXC – excedente hídrico.

A Figura 13 apresenta a representação gráfica do balanço hídrico, ilustrando o comportamento da precipitação e da evapotranspiração média ao longo do ano (Figura 13 a) e destacando a condição de ocorrência de déficit hídrico o ano inteiro (Figura 13 b). Os maiores déficits hídricos foram encontrados nos meses de janeiro, fevereiro e março, quando são atingidas as máximas temperaturas anuais, cuja máxima média compensada ocorre no mês de fevereiro. No outono, inverno e primavera, o déficit hídrico continua presente, mas em valores de menor magnitude.

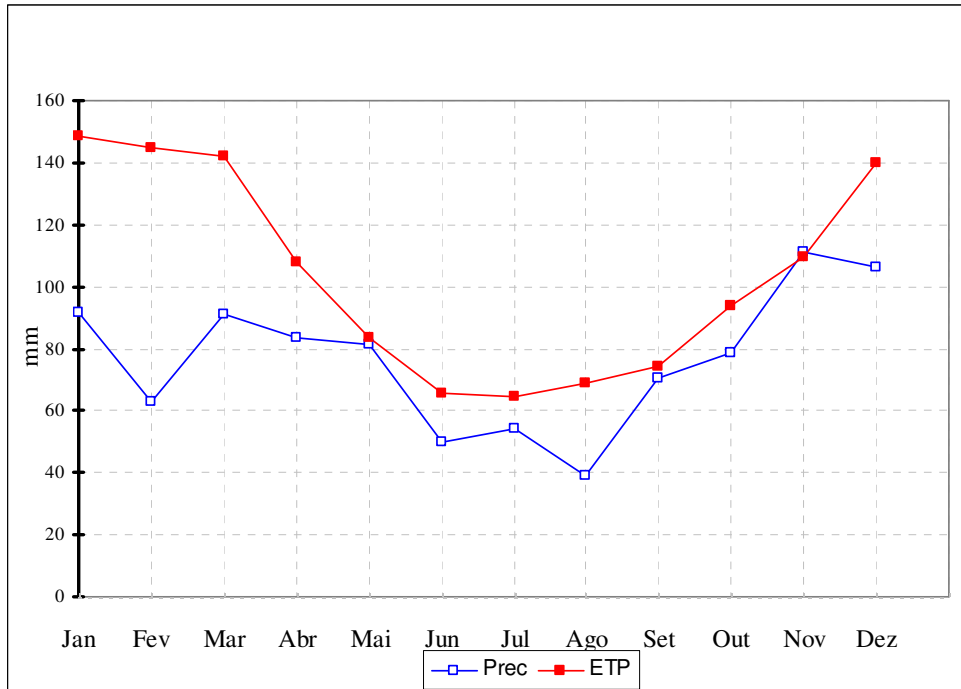


FIGURA 13 a – Gráfico do Balanço Hídrico Normal. Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ (1970/1999).

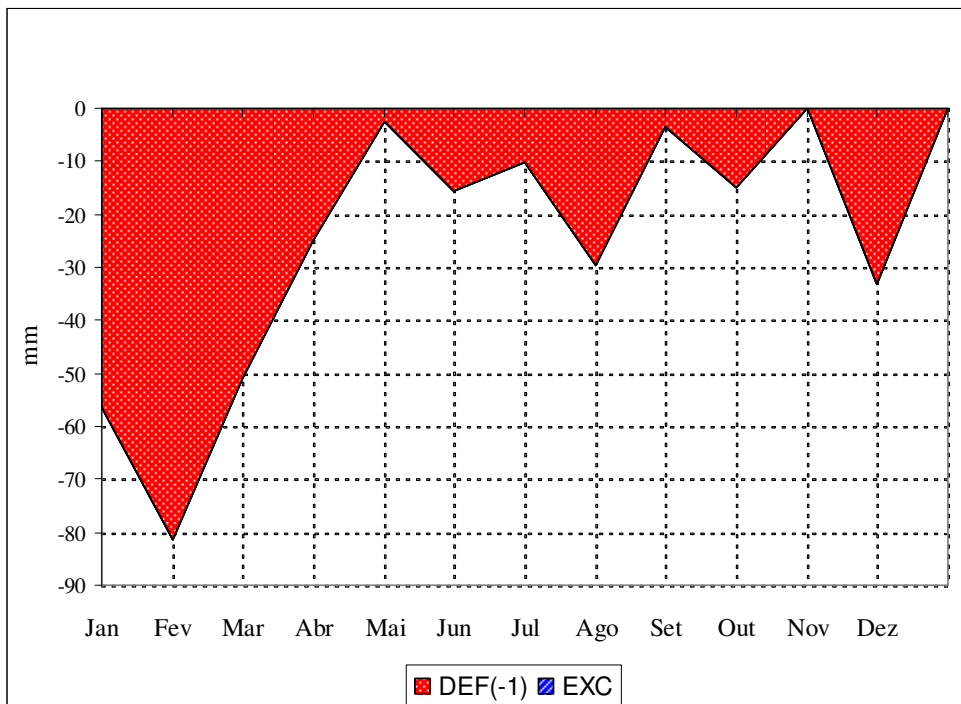


FIGURA 13 b – Extrato do Balanço Hídrico. Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ.

A avaliação do clima pelo critério de Gaussen baseia-se nos meses considerados secos, sendo estes os meses em que a precipitação alcança valores absolutos inferiores ao dobro da temperatura. Por esta classificação bioclimática, o clima é do tipo tropical,

xeroquimênico, subtermaxérico, com temperatura do mês mais frio de 21,1 °C, índice xerotérmico de 17,67 e período seco de um mês no inverno (Apêndice 8.1).

O Diagrama Ombrotérmico de Gaussen (Figura 14), feito com os dados médios de precipitação e temperatura de 30 anos, evidenciou a variação das precipitações em relação às temperaturas, destacando a existência de apenas um mês seco no ano, o mês de agosto. Contudo, a avaliação dos dados de cada ano revelou especificidades do clima encobertas pelo estudo de dados médios.

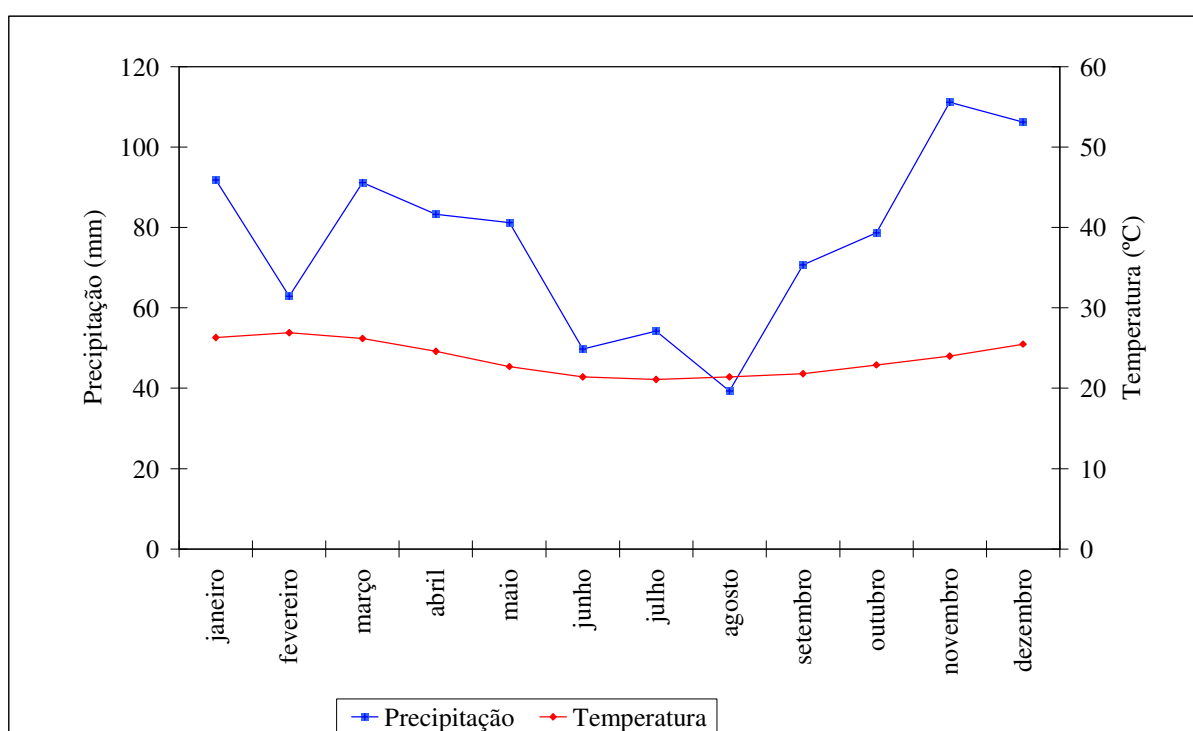


FIGURA 14 – Diagrama Ombrotérmico de Gaussen. Estação Meteorológica de Iguaba Grande/RJ (1970/1999).

Na Tabela 3 estão detalhados os dados pluviométricos mensais de cada ano da série histórica e assinalados em vermelho, os meses considerados secos pelo critério de Gaussen. Verificou-se a predominância de anos com 60 dias secos e uma frequência relativamente alta de anos com 90 dias consecutivos de seca. Além disso, ocorreram anos com 4 a 6 meses secos, seguidos de outros com dois períodos de 2 ou mais meses secos. Também foi constatada a existência de uma grande variação da época e da duração do período seco em cada ano da série analisada, ocorrendo em média 4 meses secos por ano, concentrando-se os mesmos nos meses de fevereiro e março e entre os meses de junho a agosto, sendo este último o que mais vezes apresentou condições secas. Nota-se uma grande variação na precipitação

anuais de precipitação frequentemente alcançam valores acima de 20% da precipitação média anual e, em alguns anos, passa de 50% (Figura 15). Estas variações positivas e negativas evidenciam a variabilidade interanual da precipitação e corroboram os resultados obtidos na análise anual pelo critério de Gaussien.

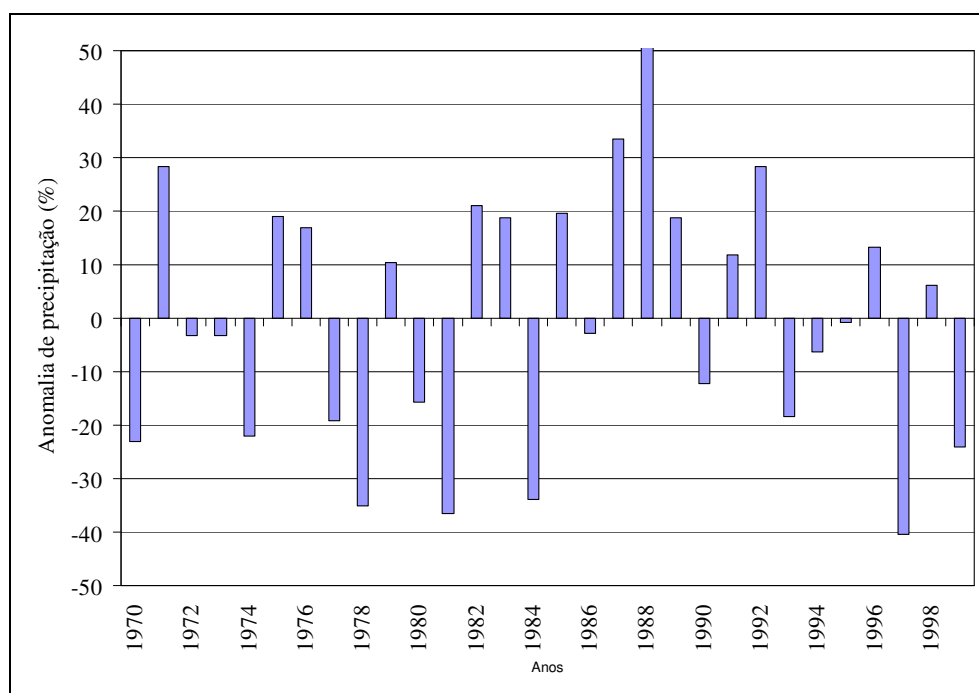


FIGURA 15 – Anomalias das precipitações anuais. Estação Meteorológica de Iguaba Grande.

Em relação à análise das chuvas máximas em 24 horas, constatou-se haver uma grande variação nos valores absolutos anuais, que variaram de 36,2 mm, em novembro de 1978, a 152,9 mm, em fevereiro de 1987 (Tabela 4). Analisando-se os meses do ano em que ocorreram chuvas intensas com mais frequência (Figura 16), verificou-se a maior concentração no mês de novembro, com 20% das ocorrências, seguido dos meses de janeiro, fevereiro e abril, que apresentaram 15 % das ocorrências de chuva máxima em 24 horas. Destaca-se também a ocorrência significativa de chuvas máximas no mês de julho, com 12 % dos anos estudados, mesmo se tratando do período seco do ano.

TABELA 4 - Chuva Máxima em 24 horas. Estação Meteorológica de Iguaba Grande (1970/1995).

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Máx. Ano
1970	44	8	2	26	5	14	16	43	17	18	44	25	44
1971	14	52	24	43	137	25	6	38	24	13	29	27	137
1972	14	14	36	45	23	11	23	16	9	30	25	22	45
1973	9	74	42	17	38	11	12	21	21	12	30	38	74
1974	46	7	13	27	17	23	3	6	22	24	16	43	46
1975	69	23	27	14	84	6	15	1	13	40	63	17	84
1976	38	21	19	102	30	16	23	21	58	43	19	38	102
1977	29	0	21	43	28	1	75	6	27	27	52	23	75
1978	17	6	28	12	19	9	9	10	19	9	36	13	36
1979	82	48	7	40	20	19	20	10	22	21	20	29	82
1980	13	23	0	35	6	11	5	17	20	35	101	39	101
1981	49	2	24	9	2	7	8	9	1	26	21	39	49
1982	57	12	119	19	11	8	39	5	9	31	16	50	119
1983	14	2	41	23	8	26	25	4	52	25	31	40	52
1984	16	7	16	54	28	4	22	18	5	18	27	28	54
1985	45	25	21	36	27	21	8	24	10	38	56	56	56
1986	21	74	70	44	36	8	47	14	13	7	18	30	74
1987	17	153	39	97	29	48	15	47	17	25	46	26	153
1988	31	64	13	25	35	31	38	21	22	35	96	65	96
1989	9	133	45	57	35	64	9	8	54	22	32	40	133
1990	8	10	10	100	65	18	23	14	32	41	14	8	100
1991	53	19	47	25	21	19	17	13	47	31	62	21	62
1992	60	15	13	18	16	26	74	22	41	57	72	56	74
1993	46	27	36	14	27	16	14	17	29	16	12	26	46
1994	26	0	59	47	34	36	36	6	15	4	21	18	59
1995	21	20	15	18	56	11	63	18	12	28	24	15	63
Máx. Mês	82	153	119	102	137	64	75	47	58	57	101	65	
Média													78

* Os dados das células correspondem aos maiores índices mensais de chuva máxima em 24 horas do ano, em milímetros.

* A cor azul claro destaca a célula correspondente ao mês que apresentou maiores índices anuais de chuva máxima em 24 horas.

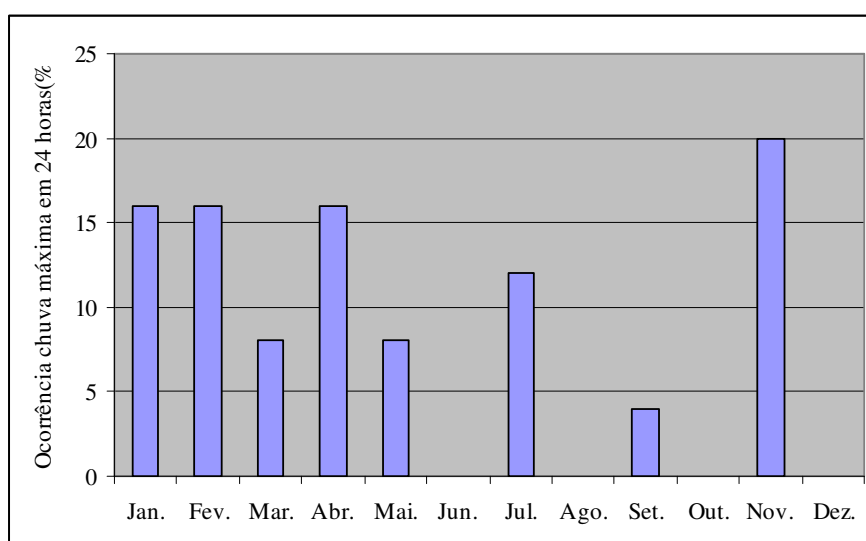


FIGURA 16 – Distribuição da ocorrência de chuva máxima em 24 horas (1970/1995).

4.1.2 ANÁLISE DE DADOS CLIMÁTICOS DO PERÍODO PESQUISADO

A análise da precipitação e do balanço hídrico pelos critérios utilizados no subitem anterior, não trouxeram respostas conclusivas em relação às condições e épocas de recarga de água na região da barragem. Isto, aliado à falta de informações relativas à série histórica de dados pluviográficos desse local, determinaram a necessidade de conhecimento do clima no período de realização da pesquisa, para estabelecer correlações com dados de vazão e qualidade da água da barragem.

No Apêndice 8.2 estão relacionados os índices climáticos do ano 2005 e o balanço hídrico seqüencial. Este ano caracterizou-se por precipitação anual bem acima da média histórica, atingindo 1204 mm, com temperaturas e índices de evapotranspiração mensais próximos à média normal. Ressalta-se a ocorrência de excedente anual de 176,7 mm, distribuído nos meses de janeiro, março, julho, novembro e dezembro. O maior excedente ocorreu no mês de março, com 43,6 mm, seguido do mês de julho com 34,9 mm. A distribuição desses déficits e excessos (visualizada no Extrato do Balanço Hídrico da Figura 17).

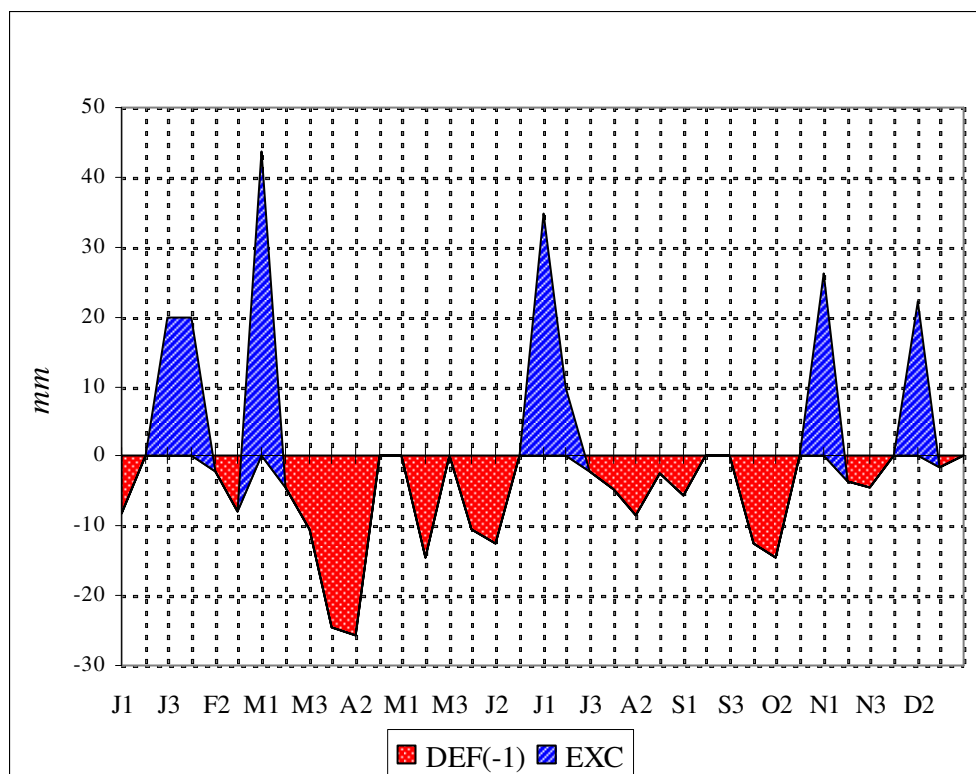
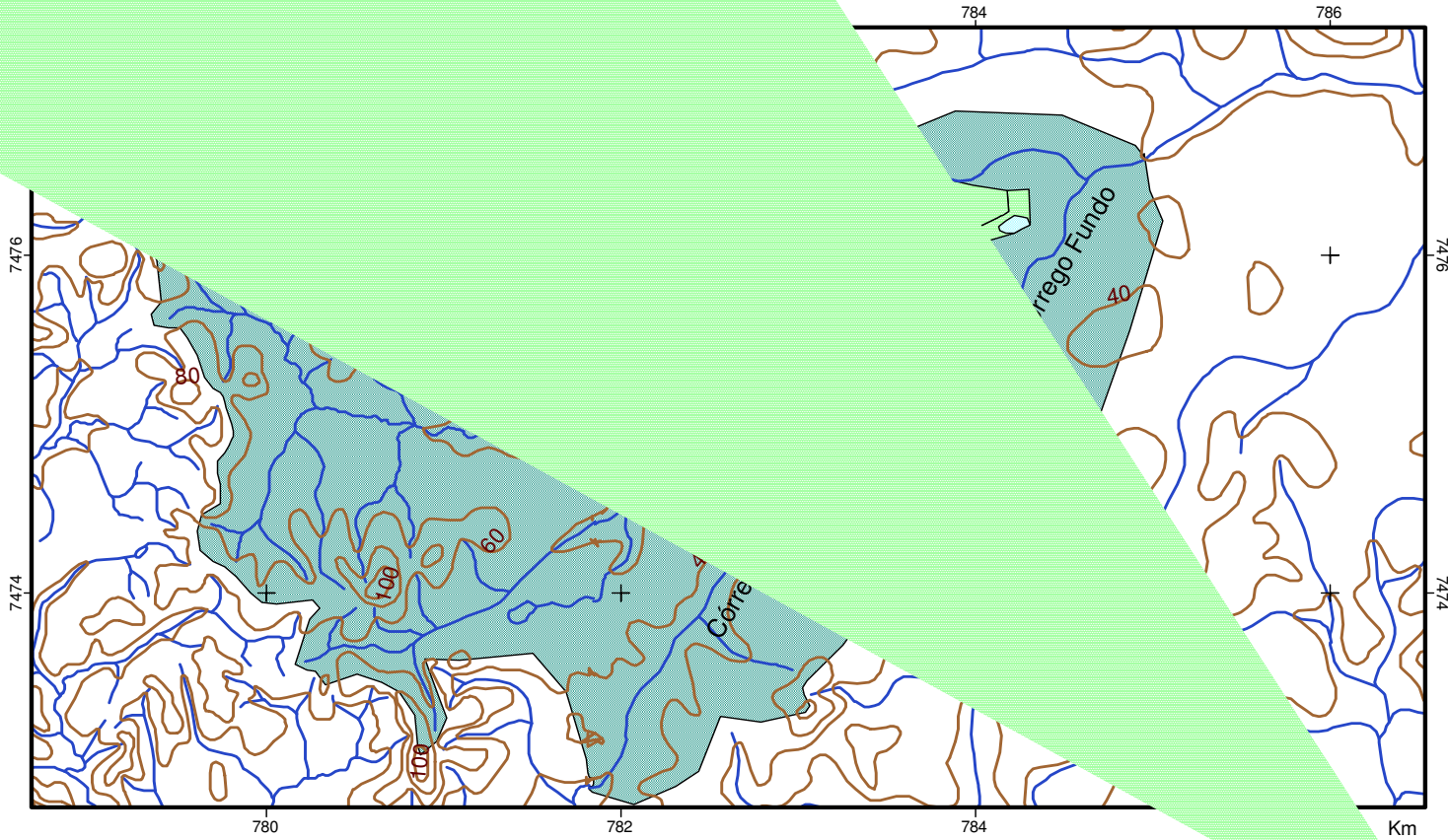


FIGURA 17 – Extrato do Balanço Hídrico Seqüencial da área de estudo, no ano 2005.

4.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

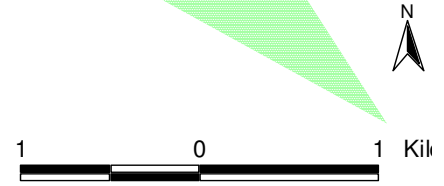
4.2.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA

A barragem pesquisada situa-se na microbacia hidrográfica do Córrego Fundo, que é integrante da parte alta da bacia do Rio Una. Tal microbacia tem aproximadamente 147 hectares, apresenta em média 1,6 % de declividade, sendo o Córrego Fundo, na região onde está instalada a barragem, de 3^a ordem (Figura 18). O projeto da barragem subterrânea está instalado em linhas de drenagem de fluxo secundário em relação ao principal, constituído de



Legenda

- Curvas de Nível - equidistância 20 m
- Hidrografia
- ▨ Barragem de Terra
- Bacia Hidráulica da Barragem
- Bacia Contribuição
- Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo



4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA

Devido à fisiografia local, a barragem apresenta característica mista, com água acumulada na superfície e na subsuperfície. Isto pode ser avaliado na foto da Figura 19, na qual visualiza-se o sangradouro vertendo água, a lâmina de água superficial acumulada próxima ao sangradouro, e parte da área da bacia hidráulica coberta de gramíneas à esquerda, onde existe água armazenada dentro do solo.

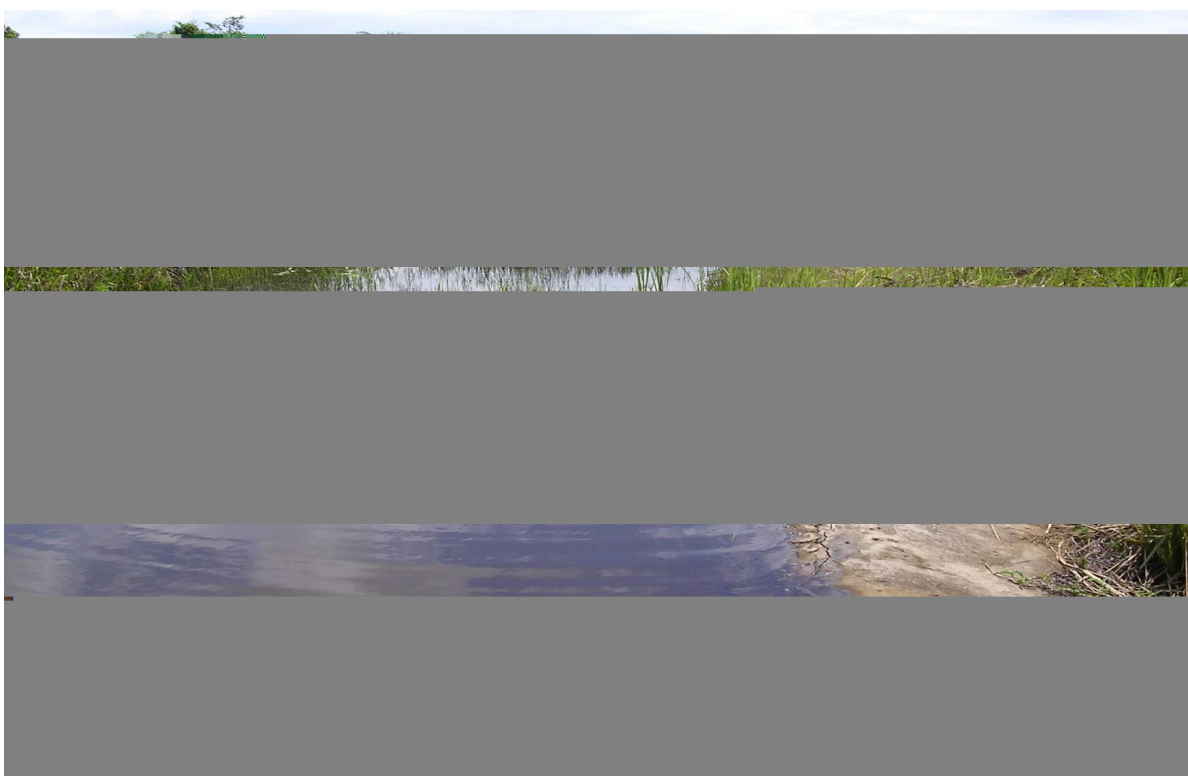


FIGURA 19 – Vista da lateral direita da barragem subterrânea, destacando o sangradouro com lâmina de água vertente e parte da bacia hidráulica, com a água escondida sob o solo.

O acúmulo de água superficial próximo ao sangradouro e ao longo de parte do talvegue, mantendo uma lâmina de água rasa em boa parte do ano, conferiu características de brejo a esta parte da bacia hidráulica. Nela houve o desenvolvimento de vegetação típica de ecossistemas aquáticos, com a presença constante de plantas dos gêneros *Typha* e *Nymphaea*, vulgarmente conhecidas como taboa e nenúfar, respectivamente.

4.2.2.1 Caracterização do solo

Ao avaliarmos a textura do solo em cada poço de observação/ponto de sondagem (Tabela 5), percebe-se uma variação granulométrica dependente da localização. Nas laterais da bacia hidráulica predominam as características de solo arenoso até 1-1,2 metro. Na região do talvegue, o solo apresenta grande variação, com predominância da textura média (<70% de areia e >20 % de argila). Uma concentração de argila acima de 35% ocorreu no talvegue, a partir de 40-60 e 60-80 centímetros de profundidade, nos poços 0 e 7, respectivamente. No poço 8, situado na lateral direita da barragem, na profundidade de 1,5 metro, verificou-se um percentual de argila de 32%.

TABELA 5 - Granulometria das camadas do solo na bacia hidráulica.

Poço/ Ponto	Localização	Profundidade (cm)	Granulometria (g/Kg)		
			areia	silte	argila
Poço 1	Direita a 4 m. Da barragem	0 - 20	900	90	10
		20 - 40	922	77	1
		40 - 60	920	70	10
		60 - 80	879	13	108
		80 - 100	669	107	224
Poço 2	Direita a 40 m. Da barragem	0 - 20	896	103	1
		20 - 40	920	70	10
		40 - 60	920	70	10
		60 - 80	890	20	90
		80 - 100	900	56	44
		100 - 120	800	30	170
Poço 3	Direita a 76 m. Da barragem	0 - 20	880	90	30
		20 - 40	890	50	60
		40 - 60	880	81	39
		60 - 80	872	88	41
		80 - 100	867	80	53
		100 - 120	824	79	98
Poço 8	Direita a 90 m. Da barragem	100 - 120	905	48	46
		120 - 148	807	32	161
		abaixo 148	658	21	321
Poço 10	Direita a 100 m. Da barragem	0 - 20	860	40	100
		20 - 40	920	10	70
		40 - 60	860	70	70
		60 - 80	840	60	100
		80 - 100	840	30	130
		100 - 120	850	30	120
Poço 4	Esquerda a 24 m. Da barragem	0 - 20	890	30	80
		20 - 40	886	72	42
		40 - 60	874	68	58
		60 - 80	832	59	109
		80 - 100	770	67	163

Poço/ Ponto	Localização	Profundidade (cm)	Granulometria (g/Kg)		
			areia	silte	argila
Poço 5	Esquerda a 4 m. Da barragem	0 - 20	810	80	110
		20 - 40	770	100	130
		40 - 60	790	50	160
		60 - 80	780	90	130
Poço 6	Esquerda a 50 m. Da barragem	0 - 20	910	20	70
		20 - 40	920	0	80
		40 - 60	910	20	70
		60 - 80	910	50	40
		80 - 100	880	50	70
		100 - 120	880	40	80
Ponto 125	Esquerda 100 m. Da barragem	0 - 20	934	40	27
		20 - 40	928	58	14
		40 - 60	921	69	10
		60 - 80	910	66	24
		80 - 100	910	40	50
Poço 0	Talvegue a 50 m. Da barragem	0 - 20	640	50	310
		20 - 40	680	120	200
		40 - 60	750	70	180
		60 - 80	620	20	360
Poço 7	Talvegue a 40 m. Da barragem	0 - 20	643	159	198
		20 - 40	632	155	213
		40 - 60	544	99	357
Ponto 129	Talvegue a 100 m. Da barragem	0 - 20	770	130	100
		20 - 40	710	180	110
		40 - 60	670	80	250

* m. - metros

Como o excesso de umidade impediu a amostragem de solo em camadas mais profundas, não foram analisadas as características físicas do solo da camada impermeável nos vários pontos de sondagem. Em alguns pontos, acredita-se que esta camada tenha sido atingida no processo de construção dos poços de observação, identificada pela mudança de resistência do solo a perfuração. Em tais casos, esta camada encontrou-se entre 1 m e 1,5 m de profundidade. Não foi possível coletar amostras de solo representativas dessa região do solo, porque ao serem coletadas resvalavam do trado, causando o risco de mistura de solo de diversas profundidades.

Os valores médios das propriedades físicas do solo na bacia hidráulica da barragem estão discriminados na Tabela 6. Verificou-se uma granulometria predominantemente arenosa, contendo 83,5 % de areia, classificando-se o solo como areia franca. Apresenta, em média, porosidade total de 41 %, densidade do solo de 1,52 kg/dm³ e densidade das partículas de 2,57 kg/dm³. Quanto à profundidade, encontra-se entre os pouco profundos (50-100 cm) a profundos (100-200 cm), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 1999).

TABELA 6 – Características físicas médias do solo da bacia hidráulica da barragem subterrânea.

Profundidade cm	Dens. solo kg/dm ³	Dens. part. kg/dm ³	Por. Total %	Granulometria média (g/Kg)		
				Areia	Silte	Argila
0 - 20	1,47	2,60	43,3	832	81	87
20 - 40	1,52	2,59	41,2	824	81	95
40 - 60	1,48	2,59	43,0	815	69	116
60 - 80	1,59	2,52	36,8	832	55	113
80 - 100	1,5	2,57	41,6	844	60	96
100 -120	1,54	2,57	40,1	862	47	91
Média	1,52	2,57	41,0	835	66	100

* Dens. – densidade / Part. – partícula / Por. - porosidade

A Tabela 7 apresenta as características físicas das camadas de solo dos perfis laterais (amostras indeformadas), situados na bacia de contribuição, fora da bacia hidráulica. Nesta tabela verifica-se que a porosidade total do solo varia de 33,0 a 51,5%, dependendo da profundidade, e que os valores da macro e da microporosidade modificam-se bastante ao longo do perfil. Até a profundidade de 60 cm predomina a macroporosidade e corresponde à fração arenosa do solo. A partir desta profundidade surge uma camada de adensamento de solo, de forma abrupta no perfil 1 e de forma mais gradativa no perfil 2, passando a prevalecer os microporos e a textura argilosa.

TABELA 7 – Características físicas do solo da bacia de contribuição.

Perfil	Profundidade (cm)	Granulometria (g/Kg)			Macro (%)	Micro (%)	Porosidade Total (%)
		Areia	Silte	Argila			
1	0 - 20	920	20	60	31	21	52
	20 - 40	920	30	50	23	13	36
	40 - 60	880	10	110	13	27	40
	60 - 80	370	120	510	4	36	40
	80 - 100	340	60	600	3	42	45
2	0 - 20	900	70	30	30	17	47
	20 - 40	850	130	20	31	14	45
	40 - 60	900	70	30	22	15	37
	60 - 80	750	50	200	10	23	33
	80 - 100	330	90	580	5	53	58

Essa mudança na textura do solo a partir de 60 cm de profundidade, com grande incremento do teor de argila, acompanhado de uma redução significativa do volume de macroporos do solo, caracteriza um processo de restrição à movimentação vertical de água. A restrição ao fluxo vertical de água no solo traz como consequência um aumento do fluxo horizontal subsuperficial, favorecendo um rápido escoamento da água da chuva para as regiões mais baixas.

Os perfis de solo analisados situam-se na área da bacia de contribuição, porém, acredita-se que o solo da bacia hidráulica também apresenta essa mesma camada de adensamento, muito comum nos planossolos (EMBRAPA, 1999). Nesse caso, a camada adensada provavelmente situa-se numa profundidade maior do que a encontrada nos perfis laterais, por ser o local onde foi instalada a barragem uma região de acúmulo de sedimentos. Nas sondagens de solo relatadas anteriormente, foram encontradas camadas arenosas até 1,2 metro de profundidade e predominância dessa textura nas laterais da bacia hidráulica, reforçando essa hipótese.

4.2.2.2 Estimativa das dimensões do aquífero barrado

A estimativa do volume de água armazenado na barragem subterrânea, em primeira aproximação, partiu das dimensões da bacia hidráulica estabelecidas no projeto, abaixo discriminadas:

- Comprimento da barragem – 95 metros
- Comprimento da bacia hidráulica - 100 metros
- Profundidade do solo – Máximo de 1,5 metro no sangradouro e mínimo de 0,50 metro no talvegue, a 100 metros de distância.

No cálculo do volume de água armazenado na barragem, efetuado com a comparação ao volume de uma pirâmide, obteve-se o valor de 2375 m³. Multiplicando-se este valor pela porosidade média do solo (40%), chegou-se a uma estimativa da quantidade de água armazenada no solo de 950 m³.

Em seguida, avaliou-se a bacia hidráulica detalhadamente por meio da interpolação de dados relativos às dimensões da bacia, localização geográfica dos poços de observação e associação do nível da água nestes poços a profundidade estimada da camada de impedimento. Na Figura 20 estão detalhadas as bacias de contribuição e hidráulica, suas conformações e os pontos de amostragem e de controle do lençol freático barrado (poços/pontos de observação). A partir desse desenho foi calculada a área da bacia hidráulica, utilizando o Sistema de Informação Geográfica, chegando-se a superfície aproximada de 12.000 m². Também foi caracterizada e calculada a área da bacia hidráulica ocupada por lâmina de água, encontrando-se o valor de 1200 m².

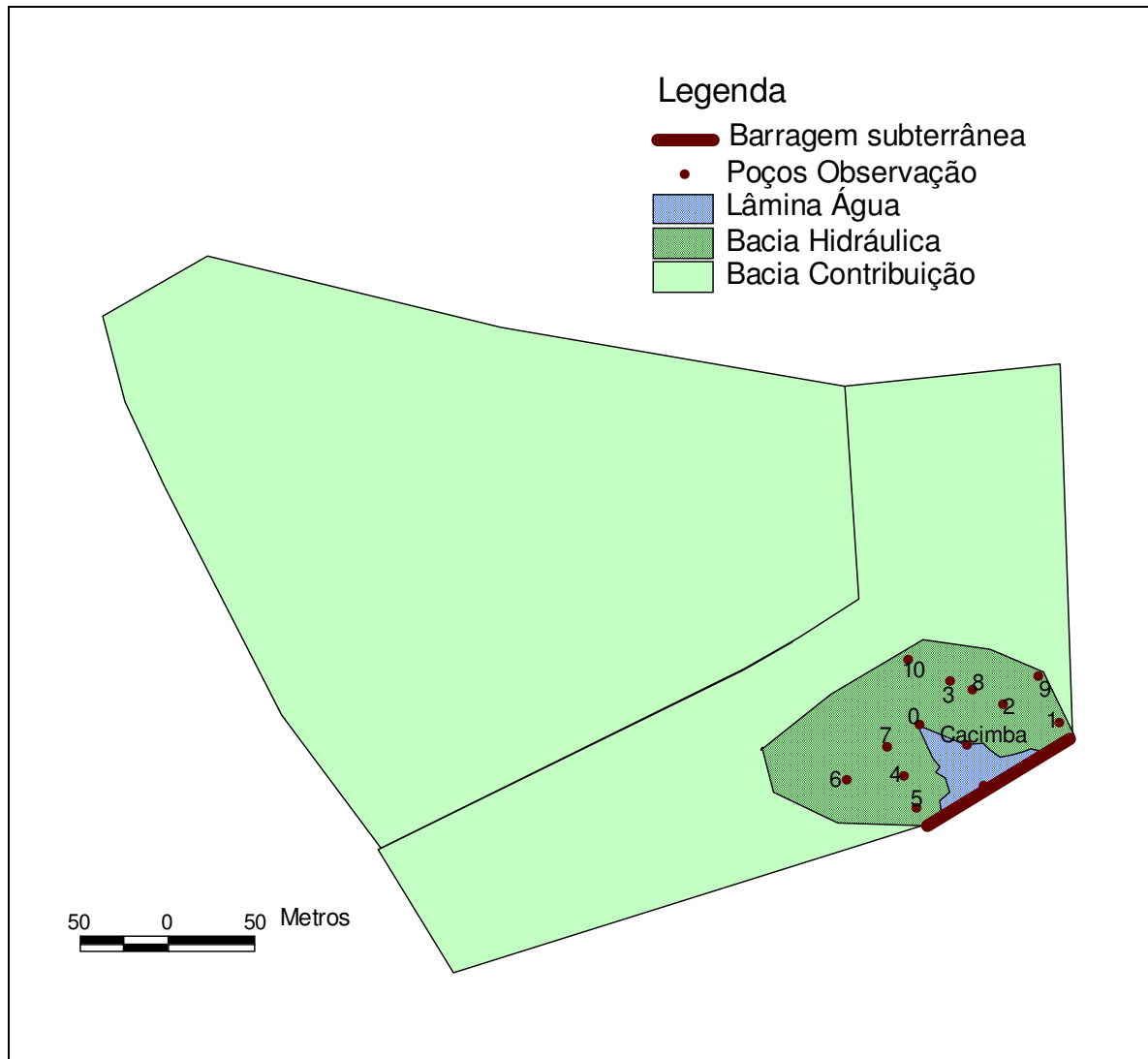


FIGURA 20 – Croqui das bacias de contribuição e hidráulica da barragem subterrânea.

A água do solo está sujeita a um número de forças que causam mudanças no seu potencial em relação ao estado padrão, estando sempre em movimento das áreas de alto potencial para as regiões de baixo potencial. O potencial de água do solo é dado pelo somatório dos potenciais gravitacional, de pressão, matricial e osmótico. Dentro do sistema solo-água-planta-ar, estes componentes comportam-se de diferentes maneiras. No caso do solo saturado, os potenciais matricial e osmótico não são considerados, pois não existe a interface água/ar e os valores de potencial osmótico são desprezíveis (REICHARDT; TIMM, 2004). Na barragem subterrânea, o potencial de pressão é desconsiderado, pois a mesma está sujeita superficialmente às condições atmosféricas. Portanto, o potencial total de água no solo ou carga hidráulica é igual ao potencial gravitacional, que corresponde às cotas da superfície freática em cada ponto do solo.

QUADRO 1 – Contornos da bacia hidráulica da barragem.

Poço/Pto.	Coordenadas UTM (m)		Cota (m)			Localização
	X	Y	Solo	Imp.	Freát.	
0	784668	7476373	25,23	24,53	24,96	50 m sangradouro talvegue
1	784748	7476374	25,27	24,27	25,04	5 m lateral dir. barragem
2	784716	7476385	26,09	24,79	25,48	40 m lateral dir. barragem
3	784686	7476398	26,21	24,74	25,56	76 m lateral dir. barragem
4	784659	7476344	25,66	24,56	25,12	30 m perpendicular esquerda
5	784667	7476326	25,83	24,78	25,22	5 m lateral esq. barragem
6	784627	7476342	26,68	25,38	25,96	50 m lateral esq. barragem
7	784650	7476361	25,32	24,72	25,11	50 m perpendicular esq. Bar
8	784698	7476393	25,69	24,22	25,64	60 m paralela dir. bar. poço 8
9	784736	7476400	26,62	25,32	25,83	50 m perpendicular dir. bar.
10	784662	7476410	26,50	25,20	25,87	100 m lateral dir. barragem
Cacimba	784695	7476368	24,62	23,57	25,01	30 m talvegue dir. barragem
NA Bar.	784705	7476338	25,00	23,50	25,00	sangradouro

* NA Bar. - nível de água 0 no sangradouro / Imp. - camada impermeável / Freát. - nível de lençol freático/Pto.- ponto

4.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

4.3.1 VAZÃO SUPERFICIAL

A vazão superficial calculada a partir de dados limimétricos medidos diariamente no sangradouro, foi utilizada para a avaliação da ordem de grandeza das vazões que verteram no ano 2005, abastecendo as áreas situadas à jusante da barragem. Na Figura 21 (a e b), visualiza-se o sangradouro e a lâmina de água vertente em duas datas, uma em período seco (14/09/2005) e outra em período chuvoso (19/12/2005). No gráfico da Figura 22 está detalhado o comportamento da vazão em cada dia do ano 2005. Nota-se que ocorreram períodos sem água vertendo no sangradouro e outras fases de vazão considerável. Os períodos mais longos de ausência de água vertendo corresponderam a 24 dias, entre os dias 29 de maio a 22 de junho e a 25 dias, entre os dias 05 a 28 de outubro. A vazão no sangradouro foi intermitente, com vazão de base maior que 0,6 l/s, alcançando o valor médio anual de 1,1 l/s (vide tabela no Apêndice 8.3).

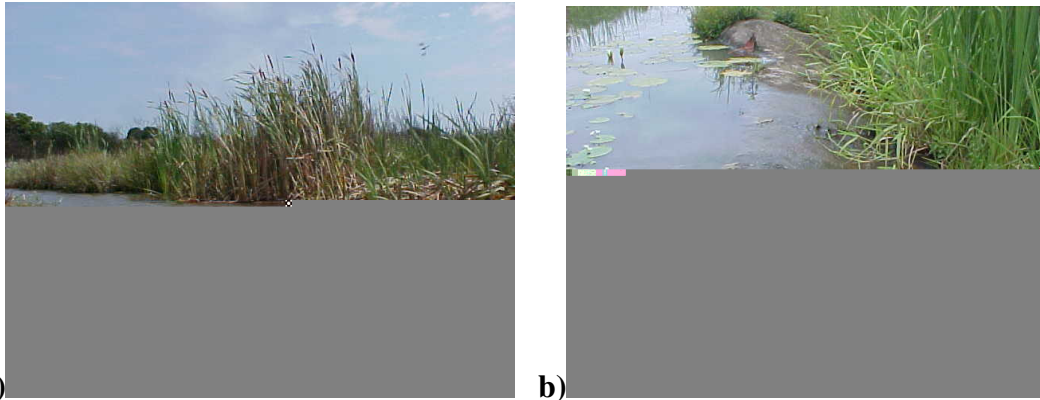


FIGURA 21 - Sangradouro e lâmina vertente em duas datas, 14/09/05 (a) e 19/12/05 (b), correspondente a período seco e chuvoso, respectivamente.

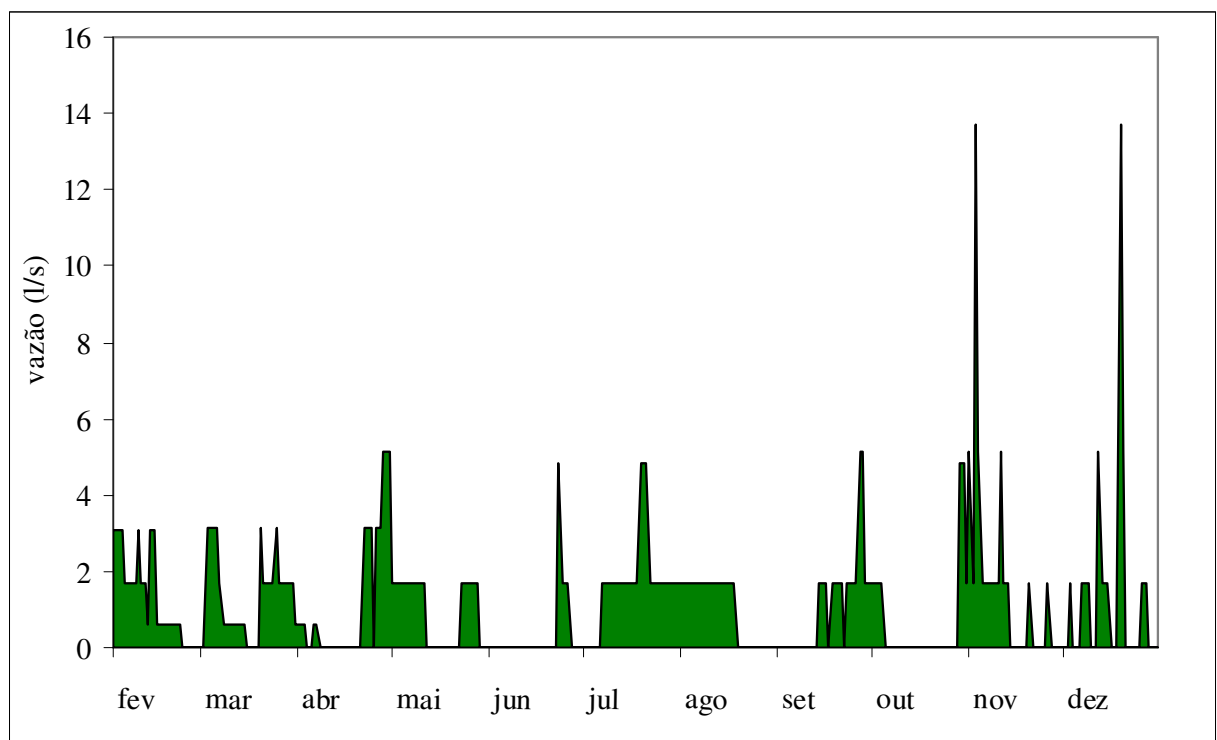


FIGURA 22 – Vazão medida diariamente no sangradouro, de 01/02/05 a 31/12/05.

O gráfico da Figura 23 expõe o comportamento das vazões e das precipitações médias mensais ao longo do ano 2005, cujo detalhamento encontra-se na tabela do Apêndice 8.4. Verifica-se que é atingido o valor médio mínimo da vazão no mês de junho, correspondente a 0,3 l/s e médio máximo em julho, com quase 1,7 l/s. Comparando-se no gráfico da Figura 23, a curva das vazões médias mensais e as colunas representativas das precipitações totais mensais, verifica-se que muitas vezes os valores de vazão têm correspondência com a ocorrência de chuvas, aumentando e reduzindo estes parâmetros conjuntamente. Em outros

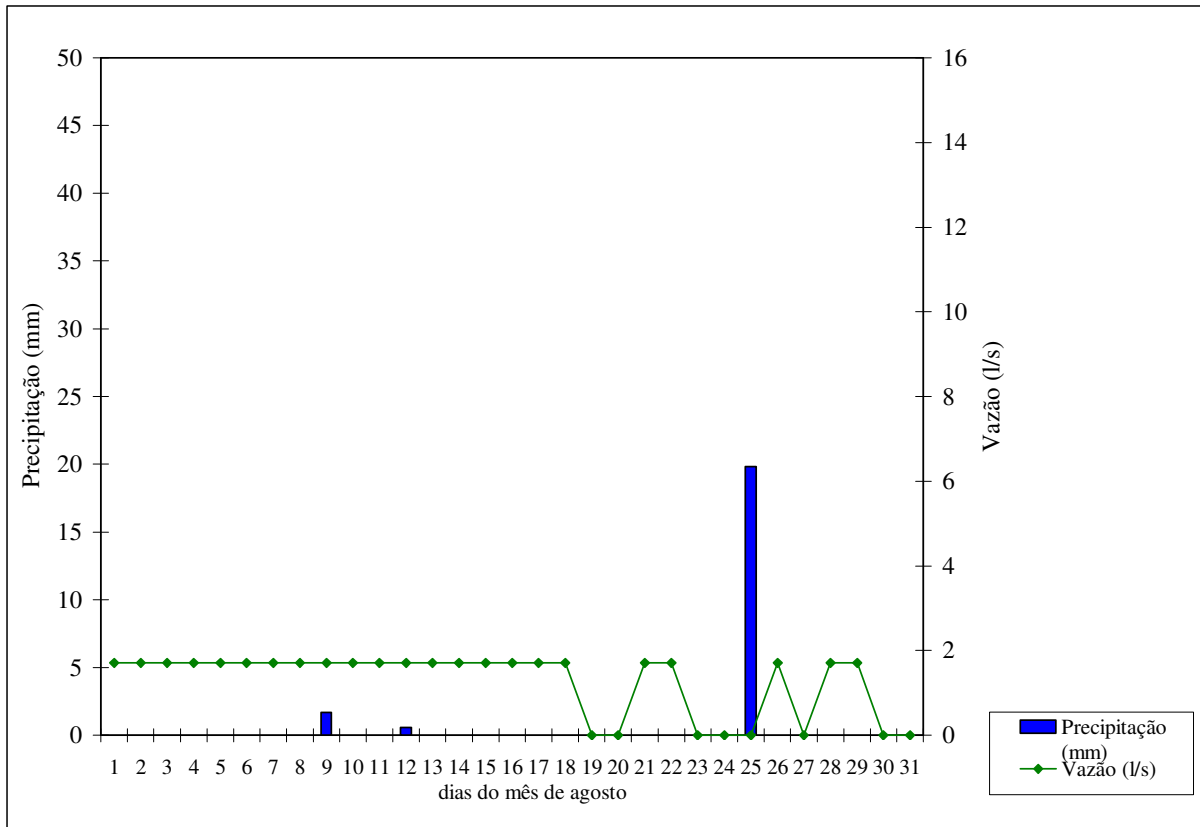
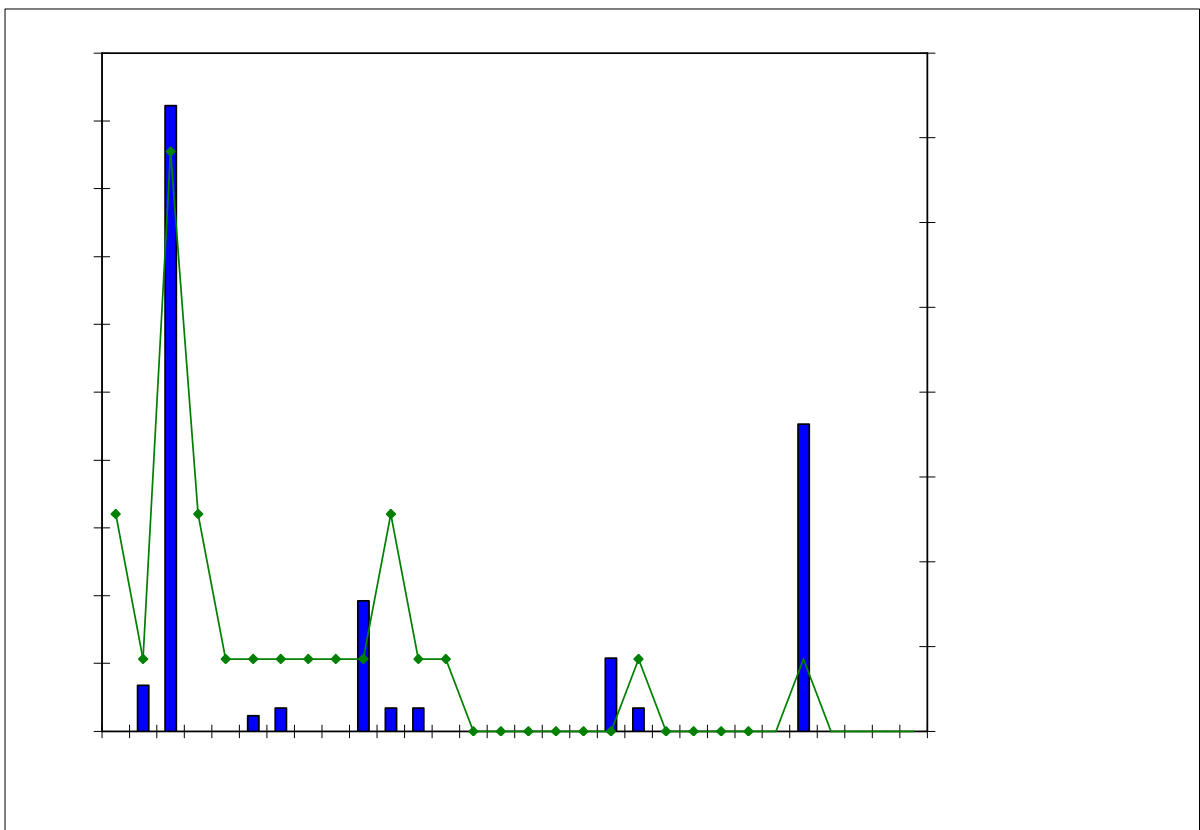


FIGURA 24 a – Precipitação e vazão no sangradouro em época seca do ano.



Os resultados obtidos para o coeficiente de correlação entre os dados de vazão e de precipitação, calculados pelo programa *Curve Expert* estão discriminados no Quadro 2 e indicam fraca correlação entre estas variáveis. Entretanto, comparando-se os coeficientes de

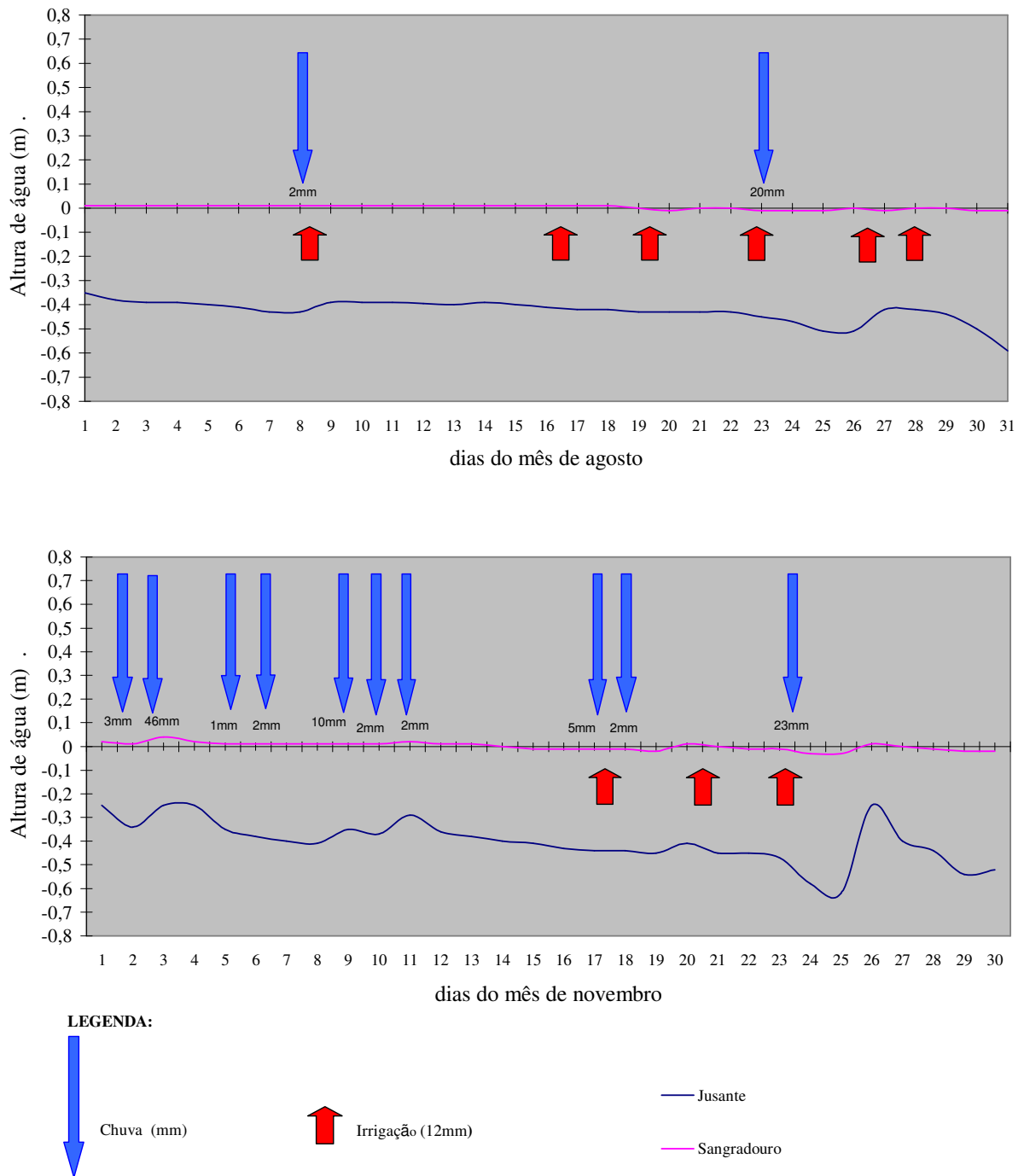


FIGURA 25 – Variação da altura do lençol freático, no sangradouro e a jusante, medida no linímetro em época seca (agosto) e chuvosa (novembro).

O acompanhamento do nível do lençol freático nos poços de observação situados a montante, confirmou a estabilidade das vazões proporcionada pela barragem subterrânea. Na Figura 26 está detalhada a localização dos poços de observação e representada a superfície potenciométrica da água subterrânea no dia 19 de dezembro de 2005. No gráfico da Figura 27

está ilustrada a variação do nível do lençol freático nos 11 poços de observação a montante, no poço cacimba e no sangradouro. Estes dados foram coletados nos dias 11/08, 25/08, 15/09, 19/10, 04/11, 14/11, 30/11, 05/12 e 19/12 do ano 2005. Verifica-se pequena variação do nível de água nos poços ao longo do período, ocorrendo apenas uma data (04/11/05) em que houve um incremento considerável na altura da água em alguns poços. Provavelmente esse aumento do nível do lençol freático está associado à precipitação de 46 mm que caiu sobre a área no dia 03/11/05, em uma semana que já vinham ocorrendo chuvas significativas (58 mm no dia 28/10/05, 15 mm no dia 30/10/05 e 15 mm no dia 31/10/05). Mesmo em períodos secos do ano 2005, ocorridos nos meses de agosto e outubro, não aconteceu queda considerável do nível do lençol freático barrado.

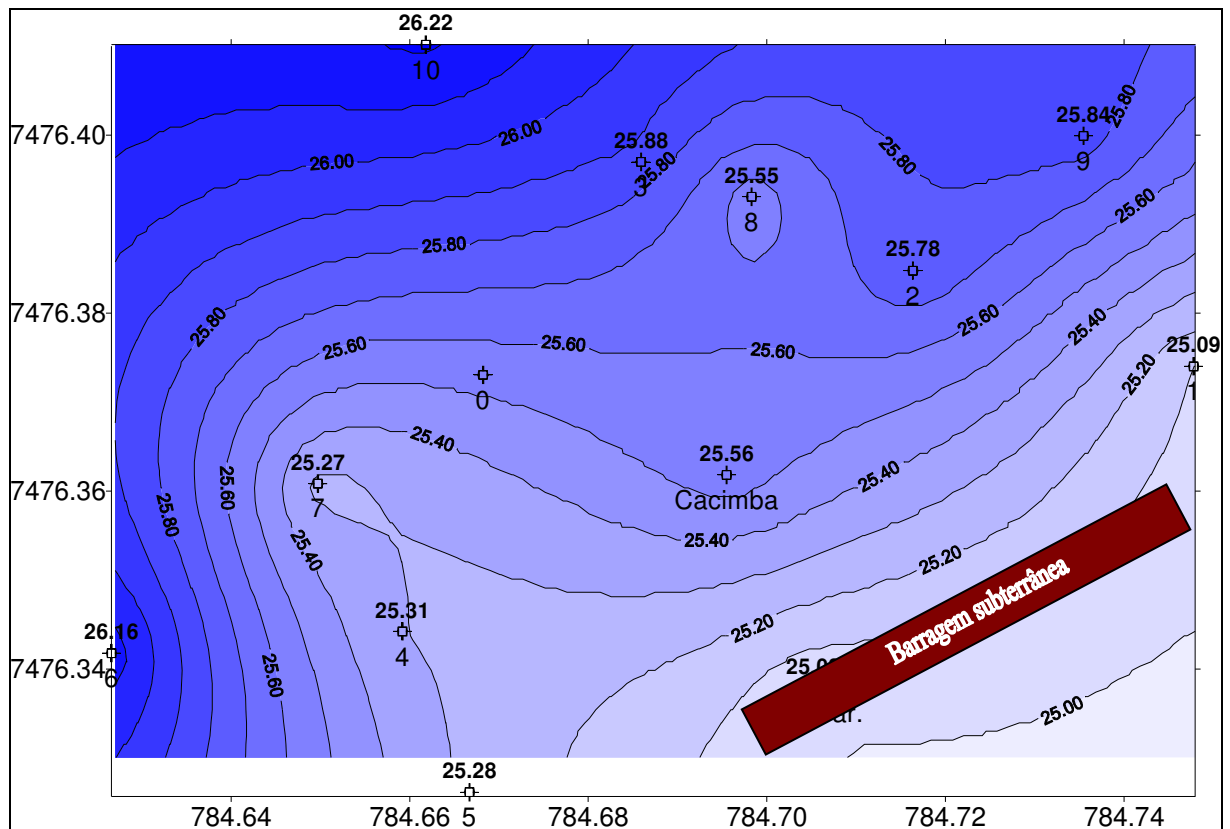


FIGURA 26 – Mapa potenciométrico do aquífero barrado. As cotas das isolinhas e dos poços de observação estão especificadas em metros. Os valores numéricos discriminados nos eixos x e y correspondem às coordenadas UTM em quilômetros.

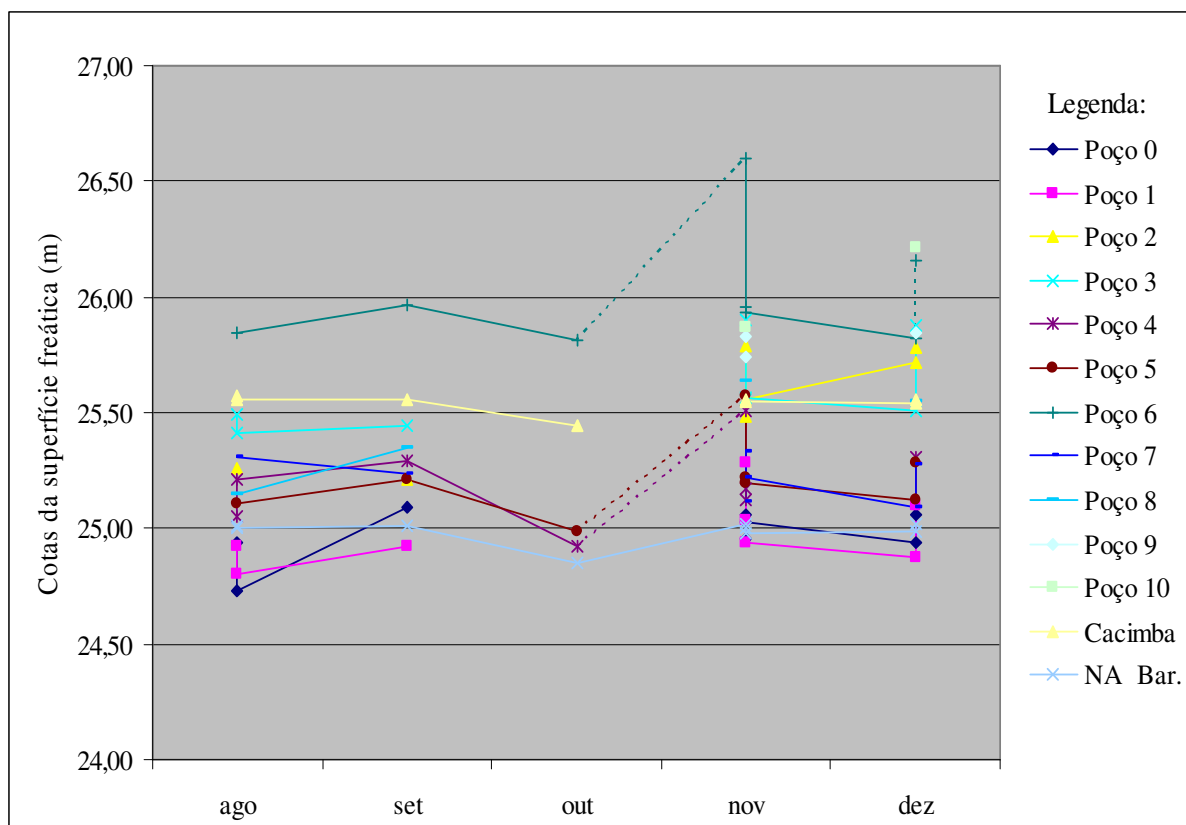


FIGURA 27 – Variação das cotas do lençol freático ao longo do 2º semestre de 2005, em metros. As medidas foram feitas a montante, nos poços de observação, no poço cacimba e no sangradouro.

4.3.2.2 Teste de bombeamento no poço de extração

O resultado do teste de bombeamento realizado no poço tipo cacimba utilizado para irrigação (detalhado no Apêndice 8.5), determinou uma vazão média de equilíbrio de 0,37 l/s e está detalhado na Tabela 8. Na tabela 9 estão discriminados os dados do teste de vazão feito com base no tempo de reposição de água no poço, que apresentou a vazão média de 0,36 l/s. A semelhança dos valores obtidos em ambos os testes confirma a confiabilidade dos mesmos para os cálculos hidráulicos. Calculando-se a média entre esses valores obtém-se uma vazão diária de 32 m³.

TABELA 8 - Medição da vazão de equilíbrio do poço.

Medições	Profundidade (m)	Tempo Médio(s)	Vazão (l/s)
1ª	3,10	29,67	0,34
2ª	2,60	27,43	0,37
3ª	2,10	25,67	0,39
Média			0,37

TABELA 9 - Medição da vazão de reposição de água no poço.

Medição	Tempo(s)	Varição água (m)	Vol. (m3)	Vazão (m3/s)	Vazão média (l/s)
1ª	300	0,120	0,114	$3,8 * 10^{-4}$	0,38
2ª	300	0,110	0,105	$3,5 * 10^{-4}$	0,35
3ª	300	0,110	0,105	$3,5 * 10^{-4}$	0,35
Média					0,36

4.3.2.3 Condutividade hidráulica

Os valores de condutividade hidráulica do solo da bacia hidráulica foram estimados em sete dos onze poços de observação ilustrados nas Figuras 20 e 26. As condutividades hidráulicas obtidas em cada um dos poços estão na Tabela 10 e detalhadas no Apêndice 8.6. Estes resultados apresentaram valores da ordem de grandeza de 10^{-3} cm/seg, característicos de solos intermediários entre os arenosos e as areias finas, siltes e misturas (CAPUTO, 1972). A condutividade hidráulica apresentou, na maioria das vezes, valores compatíveis com a granulometria encontrada nestas camadas do solo, obtidas no item 4.2.2.1 e transpostas para a Tabela 10 para efeito comparativo. O poço 0, situado no talvegue próximo ao centro da área da bacia hidráulica, foi o único em que a condutividade hidráulica diferiu bastante da granulometria esperada, pois apresenta textura média e condutividade hidráulica de $1,53 \text{ E-}02$, típica de solo arenoso. Este valor aparentemente incoerente com a granulometria, provavelmente ocorreu devido à dificuldade de amostragem nas regiões saturadas deste solo, principalmente no talvegue, apresentado nos itens 3.2.2 e 4.2.2.1. Por outro lado, verifica-se que no poço 7, também situado no talvegue, houve queda expressiva no valor encontrado para a condutividade hidráulica, caracterizando redução do fluxo de água subterrânea nesta camada do solo.

A análise granulométrica do poço 8 mostra haver grande quantidade de argila, sem ter sido atingida a quantidade característica dos solos argilosos. Entretanto, o valor de condutividade encontrado neste ponto alcançou valores da ordem de 10^{-5} cm/s, sendo compatível com siltes e *loess* (FREEZE; CHERRY, 1979). Segundo Smedema e Ricroft (1983), solos com valor de condutividade hidráulica dessa ordem de grandeza são considerados de muito baixa permeabilidade, característico de argilas pouco estruturadas. Esse dado confirma a adequação da escolha da profundidade de 1,5 metro como máxima de acúmulo de água na bacia hidráulica, para fins de estimativa de potencial hidráulico da barragem.

TABELA 10 – Condutividade hidráulica e granulometria nos poços de observação.

Descrição	Profundidade slug test (cm)	Granulometria (%)			Condutividade Hidráulica (cm/s)
		Areia	Silte	Argila	
Poço 0	25 - 35	68	12	20	1,53E-02
Poço 1	35-45	92	8	0	5,15E-03
Poço 3	65 -75	87	9	4	1,14E-03
Poço 5	75 - 85	78	9	13	2,00E-03
Poço 6	80 - 90	88	5	7	1,55E-03
Poço 7	35 - 45	58	13	29	8,33E-03
Poço 8	147	66	2	32	3,07E-05
Média	Poço 0,1,3,5,6,7	79	9	12	5,60E-03

*Média calculada com base nos poços 0, 1, 3, 5, 6 e 7. O poço 8 foi excluído por referir-se a condutividade hidráulica da camada impermeável.

4.3.2.4 Modelagem do aquífero barrado

Devido à irregularidade da precipitação na região pesquisada (item 4.1) e aos dados de vazão medidos no sangradouro (item 4.3.1), optou-se por fazer a modelagem como aquífero transiente, analisando-se o fluxo subterrâneo para períodos de 30 dias, com recarga igual a 0, para simular as condições encontradas em períodos secos, quando não existe água superficial vertendo no sangradouro.

As condições de contorno foram definidas como fluxo zero na parede da barragem e na face inferior da bacia hidráulica (camada de impedimento). Na face superior do aquífero, condições de contorno de carga específica, variável no tempo, de acordo com as cargas hidráulicas medidas nos poços de monitoramento. Foram utilizados os potenciais hidráulicos medidos no dia 14/11/2005, por corresponderem ao nível 0 no sangradouro, isto é, sem escoamento superficial, tendo sido os mesmos já discriminados no Quadro 1 (item 4.2.2.2). As cargas hidráulicas medidas nos poços foram irradiadas para as células em volta, obedecendo à fisionomia geral do terreno, estabelecendo-se os potenciais iniciais e de contorno em cada célula do domínio.

QUADRO 3 – Parâmetros adotados na modelagem.

Discriminação	Unidade	Valor adotado
Porosidade total	%	40
Porosidade efetiva	%	23
Coeficiente de armazenamento	%	20
Condutividade hidráulica	cm/s	5,60E-03

Para avaliar a qualidade do modelo numérico foi verificada a consistência, a convergência e a estabilidade dos resultados, fornecidas pelo programa *ModFlow* por meio de gráficos, tabelas, mapas e animações. A partir dos resultados de saída do programa, efetuou-se um ajuste na vazão de extração do poço, iniciando-se com o valor calculado no item 4.3.2.2, de 32 m³/dia, correspondente à vazão de equilíbrio mista do poço tipo cacimba. Os valores de vazão foram reduzidos até que o poço não esgotasse mais após a simulação do programa, obtendo-se como vazão máxima de extração sustentável 5 m³/dia, considerando-se um único ponto de extração.

Os resultados da modelagem do aquífero barrado encontram-se na Tabela 11. A baixa vazão de extração de água subterrânea, por curto período de tempo, indica a limitação da capacidade de suporte da obra, que não apresenta grande potencial hídrico subterrâneo. Para melhorar a capacidade hidráulica da barragem poderiam ser estudadas modificações no tempo, nos pontos de extração e nos valores de vazão. Entretanto, os valores obtidos no balanço Entrada-Saída do *ModFlow* são muito baixos, concluindo-se que essas alterações não trariam modificações expressivas na vazão máxima de extração sustentável do poço, proveniente exclusivamente de lençol subterrâneo.

TABELA 11 – Balanço de Massa do *ModFlow* para período de 30 dias.

Descrição	Cumulativo		Diário	
	ENTRADA	SAÍDA	ENTRADA	SAÍDA
Armazenamento (m ³)	306,12	205,72	2,61	0,81
Potencial hidráulico (m)	257,99	208,38	8,60	5,41
Poços (m ³ /dia)	0,00	150,00	0,00	5,00
Total	564,1100	564,1051	11,2139	11,2134
Balanço Entrada-Saída	0,004883		0,000580	
Discrepância (%)	0,000000		0,010000	

A Figura 28 ilustra o funcionamento do aquífero barrado, de acordo com a simulação do programa MODFLOW. Nela visualiza-se a barragem, as linhas equipotenciais variando de 24,8 a 25,8 m e as linhas de fluxo de água, fluindo em direção ao corpo da barragem e

convergindo para o poço, demonstrando que o modelo foi bem calibrado. Isto pode ser confirmado pelo baixo valor de discrepância apresentado nos dados de saída do programa, de 0% cumulativamente e de 0,01% diariamente.

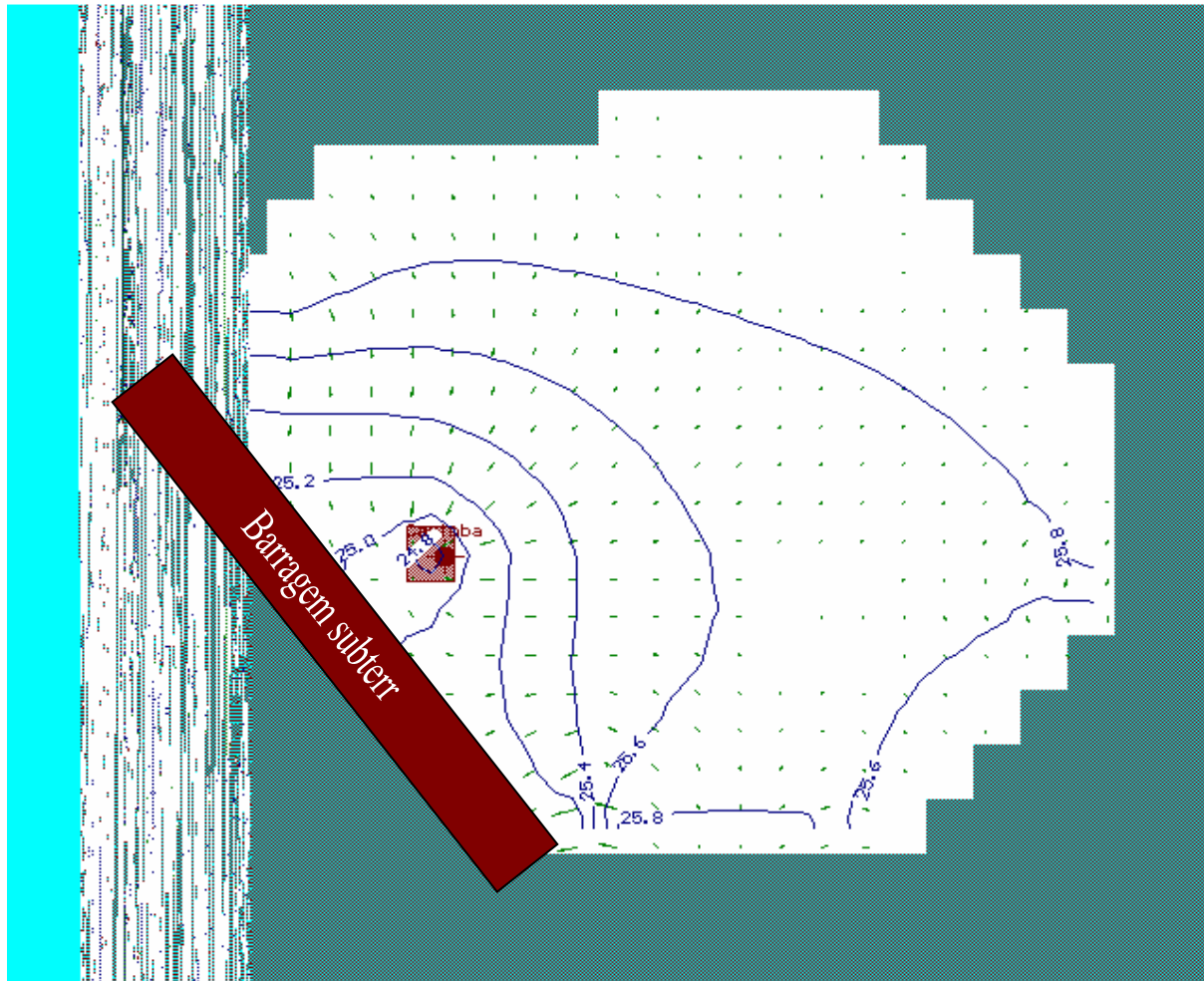


FIGURA 28 – Esquema gráfico do aquífero barrado quando submetido à extração, destacando a barragem subterrânea, o poço de extração, as linhas de fluxo e as linhas equipotenciais (cotas em metros). Imagem rotacionada em 90° para a esquerda em relação às Figuras 20 e 26 (georeferenciadas).

4.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM

A avaliação da qualidade da água armazenada na barragem visou principalmente ao uso em irrigação, uma vez que foi este o objetivo do Projeto Águas da Terra. Em relação à potabilidade, a pesquisa avaliou apenas alguns aspectos da qualidade do poço para o consumo humano, referentes às concentrações de sólidos totais, sódio, cloretos, sulfatos, ferro e o pH. Os resultados das análises de água mensais estão detalhados na tabela 12. De acordo com a

Resolução nº. 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a qualidade da água, seus usos e atributos, e considerando apenas as substâncias analisadas na água da barragem, ela enquadra-se como água doce, de classe 3 (Anexo 9.1). Nesta classe estão incluídas águas próprias para o consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cereais e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário e dessedentação de animais.

Os resultados obtidos para as concentrações de sulfato, de sódio, de cloro e de sólidos totais dissolvidos, encontram-se dentro dos valores permitidos para consumo humano, de acordo com a Portaria nº. 518/2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Ministério da Saúde (Anexo 9.1). Apenas o pH apresenta-se levemente ácido e a concentração de ferro atingiu valores bem acima do máximo aceito para uso humano.

Em relação à qualidade da água para uso em irrigação foram adotados os padrões estabelecidos pela *University of California Committee of Consultants*⁴ (1974, *apud* AYRES; WESTCOT, 1985), que encontram-se discriminados no Anexo 9.2. Segundo estes autores, o pH deve situar-se no intervalo entre 6,5 e 8,4, sendo este parâmetro utilizado como indicador de problemas de toxicidade. A acidez da água de irrigação pode causar problemas de desequilíbrios nutricionais, conter íons tóxicos e prejudicar o funcionamento de equipamentos de irrigação. O pH da água da barragem encontra-se abaixo dos valores considerados adequados. Esta acidez pode estar associada aos elevados teores de ferro ou aos baixos valores de condutividade elétrica.

De acordo com as diretrizes propostas por Ayres e Westcot (1985), a água da barragem não apresenta nenhum grau de restrição de uso relativo à salinidade, pois apresentou condutividade elétrica abaixo de 0,7 mmhos/cm e o total de sólidos solúveis abaixo de 450 mg/L. Quanto à infiltração do solo, apresenta moderado a severo grau de restrição, devido aos baixos valores encontrados de condutividade elétrica. Em relação à toxicidade de íons específicos não exhibe problemas. Ressalta-se que algumas substâncias importantes para a avaliação da qualidade da água para irrigação, como os carbonatos e bicarbonatos, os nitratos e a amônia, os fosfatos, o potássio, o boro e alguns oligoelementos, não foram analisados. Em relação a possíveis problemas ligados a concentrações elevadas de carbonatos e bicarbonatos, acredita-se que isto não venha a ocorrer, pois os valores de pH encontrados são baixos e normalmente teores elevados de carbonatos e bicarbonatos estão associados a pH maiores do que 7,5 (PATERNIANI; PINTO, 2001). Em relação aos teores de boro, também parece não

⁴ UNIVERSIT OF CALIFÓRNA COMMITTEE OF CONSULTANTS. *Guidelines for interpretation of water quality for agriculture*. Davis: University of California, 1974. 13 p.

existir problema, já que a presença desse elemento na água é rara, muitas vezes associado às falhas sísmicas e áreas geotérmicas. Quanto à possibilidade de concentração de boro proveniente dos minerais do solo, também parece não existir risco, uma vez que as análises mineralógicas desse micronutriente, em solos da região, freqüentemente apresentam baixas concentrações, segundo informações de técnicos da EMATER-RIO (informação verbal)⁵.

Avaliando os valores de cada um dos elementos discriminados na Tabela 12, verifica-se que grande parte dos mesmos estão dentro de limites considerados adequados para uso em irrigação, com exceção dos valores de condutividade elétrica, que ficaram abaixo de 0,2 dS/m em grande parte do ano. Segundo Ayres e Westcot (1985), os valores de condutividade elétrica dessa ordem de grandeza são considerados muito baixos e podem provocar a lixiviação de sais e minerais solúveis do solo, inclusive de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados. Como conseqüência, o solo pode tornar-se disperso e suas finas partículas promoverem o entupimento dos poros por onde circula a água, reduzindo consideravelmente a sua capacidade de infiltração. Estes pesquisadores relatam que a característica de dispersão e destruição da estrutura do solo só ocorre quando o teor de sódio supera em três vezes o teor de cálcio, o que não aconteceu na água da barragem no ano pesquisado. Por outro lado, os valores obtidos para a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) são baixos, confirmando o reduzido risco de comprometimento da capacidade de infiltração do solo pelo uso da água da barragem para irrigação.

A concentração de ferro estabelecida como limite na água de irrigação de 5mg/l, diz respeito à proteção dos solos, segundo critérios propostos pela *National Academy of Science* (AYRES; WESTCOT, 1985). Esta instituição relata que teores de ferro de 5mg/l não chegam a prejudicar o desenvolvimento vegetal, em solos bem aerados, mas podem causar deposição excessiva do elemento nas folhas, no caso de uso de irrigação por aspersão. Também contribuem para a acidez do solo e para desequilíbrios nutricionais em plantas, sendo considerados indicadores do potencial de ocorrência de reações de oxidação, responsáveis por processos de corrosão (GRAYMAM *et al.*, 2004). Pesquisas relatam também sérios problemas de entupimento nos equipamentos de irrigação, causados pelo excesso de ferro na água, a partir de 0,1 mg de ferro por litro de água, no caso do uso de irrigação localizada (CAMPOS, 2001; NAKAYAMA⁶, 1982, *apud* AYRES; WESTCOT, 1985). Na água da barragem, a concentração de ferro oscilou bastante, partindo de valor relativamente baixo de

⁵ Informação obtida junto ao Escritório Regional da Baixada Litorânea da EMATER-RIO.

⁶ NAKAYAMA, F. S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: PROC. IRRIGATION ASSOCIATION CONFERENCE, 1982, Portland, Oregon, p. 21-24.

0,7 mg/l até um valor muito elevado, que ocorreu no mês de março, quando alcançou 13,99 mg/l. Nos outros 11 meses do ano 2005, os níveis de ferro encontraram-se dentro de limites considerados não prejudiciais ao solo e plantas, porém ruins para os equipamentos de irrigação. Devido à ordem de grandeza desse elemento na água, no mês de março, cerca de dez vezes superior aos valores medidos nos demais meses, acredita-se que pode ter havido erro de análise.

O gráfico da Figura 29 apresenta a variação mensal da precipitação, da evapotranspiração e dos teores dos elementos químicos na água do poço cacimba, ao longo do ano 2005. Neste ano, parece não ter havido uma influência direta do clima na qualidade química da água da barragem, provavelmente por ter ocorrido abundância de chuvas. A aplicação do teste estatístico Análise dos Componentes Principais (ACP), cujos resultados estão discriminados na Tabela 13, confirma a baixa correlação existente entre os teores dos diversos elementos químicos da água da barragem e as condições climáticas. Apenas os teores de sulfato, magnésio e pH apresentaram correlação alta com as condições climáticas, pois alcançaram valores positivos e negativos acima de 0,7. Porém, não foram feitos outros testes estatísticos para verificar se estes resultados são significativos.

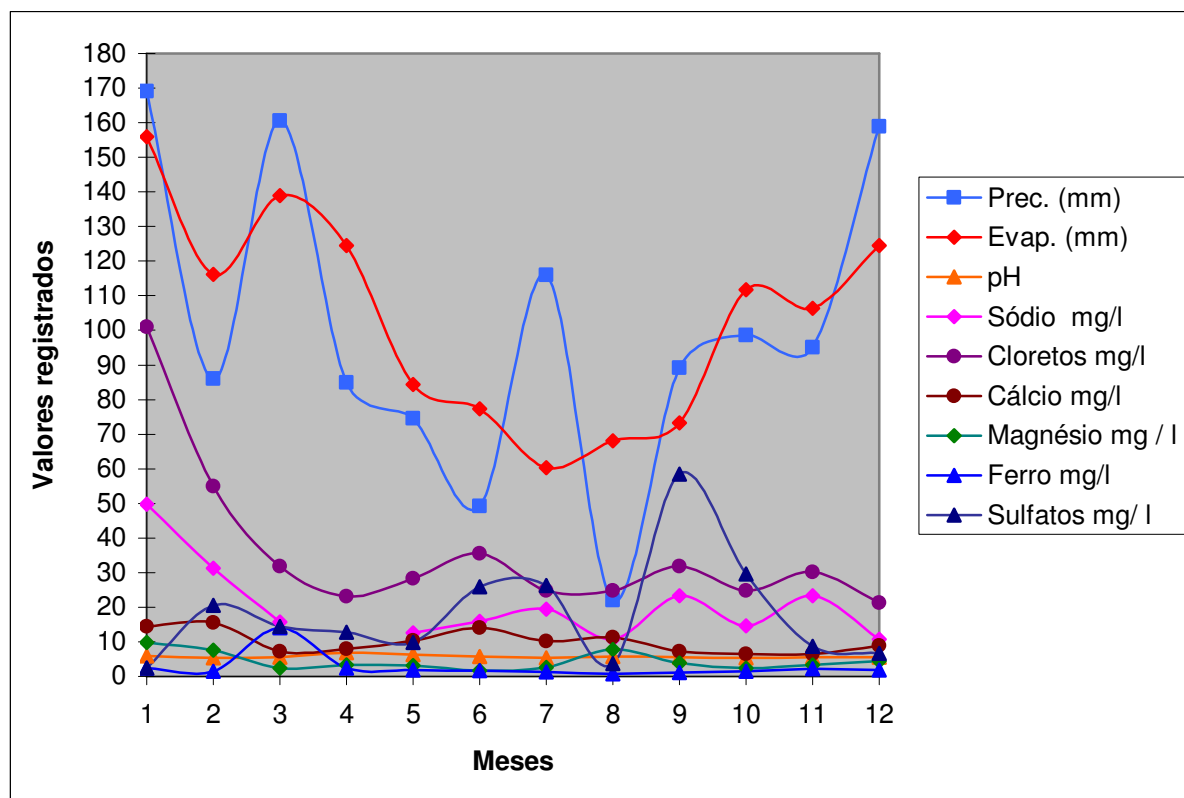


FIGURA 29 – Variação da precipitação, da evapotranspiração e dos teores dos elementos químicos na água de irrigação ao longo do ano 2005.

TABELA 12 – Parâmetros de qualidade da água armazenada na barragem ao longo do ano 2005.

Discriminação	Unidade	Jan	Fev	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Data de coleta		18/1	14/2	14/3	14/4	23/5	16/6	20/7	19/8	26/9	10/10	30/11	27/12	Anual
pH	-	6,01	5,36	5,60	6,88	6,24	5,80	5,40	5,78	5,60	5,40	5,63	5,46	5,76
Cloretos	mg/l	101,04	54,95	31,91	23,04	28,36	35,45	24,82	24,82	31,91	24,82	30,14	21,27	36,04
Cálcio	mg/l	14,43	15,63	7,21	8,02	10,42	14,03	10,22	11,22	7,21	6,41	6,41	8,82	10,00
Magnésio	mg/l	9,73	7,54	2,43	3,40	3,16	1,70	2,55	7,78	3,89	2,43	3,40	4,38	4,33
Ferro	mg/l	2,45	1,54	13,99	2,36	1,92	1,75	1,22	0,70	1,12	1,57	2,27	1,92	2,73
Sulfatos	mg/l	2,47	20,58	14,40	12,76	9,88	25,92	26,34	3,70	58,43	29,63	8,64	6,58	18,28
Sólidos Totais	mg/l	322,00	175,00	283,00	96,00	126,00	132,00	110,00	144,00	163,00	167,00	162,00	80	163,33
Sódio	mg/l	49,7	31,2	15,8	xxx	12,5	15,9	19,5	10,7	23,3	14,7	23,3	10,8	20,67
Condutividade	dS/m	0,42	0,26	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,16	0,13	0,18	0,13	0,18
RAS		0,78	0,51	0,41	0,00	0,27	0,34	0,45	0,19	0,55	0,40	0,58	0,23	0,39

*RAS – relação de adsorção de sódio / dS/m – deciSiemens por metro / mg/l - miligrama por litro

TABELA 13 – Matriz de correlação dos componentes principais (ACP) entre parâmetros de qualidade da água e componentes do balanço hídrico.

	Deficit(+)	Excesso	pH	Sódio	Cloretos	Cálcio	Magnésio	Ferro	Sulfatos	Precipitação	Evaporação
Deficit(+)	0,10										
Excesso	-0,50	0,10									
pH	0,71	-0,44	0,10								
Sódio	-0,54	0,29	-0,31	0,10							
Cloretos	-0,22	0,12	0,44	0,90	0,10						
Cálcio	-0,16	-0,53	-0,31	0,50	0,63	0,10					
Magnésio	-0,25	-0,43	0,19	0,62	0,72	0,58	0,10				
Ferro	0,60	0,53	-0,44	-0,51	-0,17	-0,27	-0,24	0,10			
Sulfatos	-0,77	-0,20	-0,31	-0,27	-0,22	-0,23	-0,39	-0,14	0,10		
Precipitação	-0,33	0,65	-0,19	0,40	0,39	-0,15	0,85	0,49	-0,17	0,10	
Evaporação	0,17	0,25	0,18	0,34	0,53	0,16	0,33	0,47	-0,44	0,71	0,10

* Dados destacados em vermelho correspondem às correlações relevantes em relação aos índices climáticos analisados.

4.5 IMPACTOS SOBRE O SOLO E A VEGETAÇÃO

As características da cobertura do solo antes e após a construção da barragem subterrânea são bem diferentes. Antes, no solo seco predominavam gramíneas (Figura 30 a), após a implantação da obra, formou-se um ambiente característico de pequenos brejos, com água vertendo no sangradouro por vários meses ao longo do ano (Figura 30 b) e com a presença de vegetação aquática típica no talvegue (descrito no item 4.2.2 e visualizado nas Figuras 31 a e c e 32 a, b e d). A multiplicação de plantas do gênero *Cecropia* na região seca próxima ao talvegue também foi um fato característico, pois essa espécie é pioneira e típica de processos de sucessão florestal.

Nas Figuras 31 e 32 verifica-se a semelhança dos ambientes formados pelas barragens subterrâneas construídas no Projeto Águas da Terra, em localidades diferentes, em microbacias distintas, dentro da sub-bacia do rio Papicu. Destaca-se a lâmina de água próxima ao sangradouro, o ambiente de brejo e as lavouras de frutíferas e olerícolas irrigadas com água da barragem. As áreas mais secas do solo da bacia hidráulica e também do seu entorno, passaram a ser cultivadas com plantas frutíferas e olerícolas, aproveitando o solo úmido e a possibilidade de utilização de sistema de irrigação localizada (Figuras 31 b e d e 32 b e c). Deve-se ressaltar que a área de solo agricultável perdida pelo acúmulo de água superficial restringe-se a uma faixa de solo de 1.200 m², que equivale a 10% da área da bacia hidráulica. No caso da barragem tradicional há uma perda de área equivalente a toda superfície do reservatório, o que significaria uma perda de solo dez vezes maior.

Uma análise econômica do projeto não foi possível, devido à precariedade dos dados referentes à produção e à comercialização das colheitas nessas propriedades. Foram observadas apenas as condições de ocupação do solo e de exploração das áreas onde foi implantado o Projeto Águas da Terra. A avaliação do impacto da implantação da obra na qualidade de vida dos dois agricultores beneficiados pela barragem subterrânea pesquisada, foi dificultada por estes serem aposentados rurais, utilizarem o produto da agricultura apenas para a subsistência da família, além de não dispensarem cuidados adequados às lavouras. Estes agricultores pouco cultivavam nas suas áreas antes da implantação da barragem subterrânea, principalmente devido à incerteza em relação às colheitas, gerada pela irregularidade climática. Após a implantação da barragem passaram a explorá-las com plantios de subsistência de mandioca, milho verde, maracujá e amendoim (Figuras. 31 b e d).

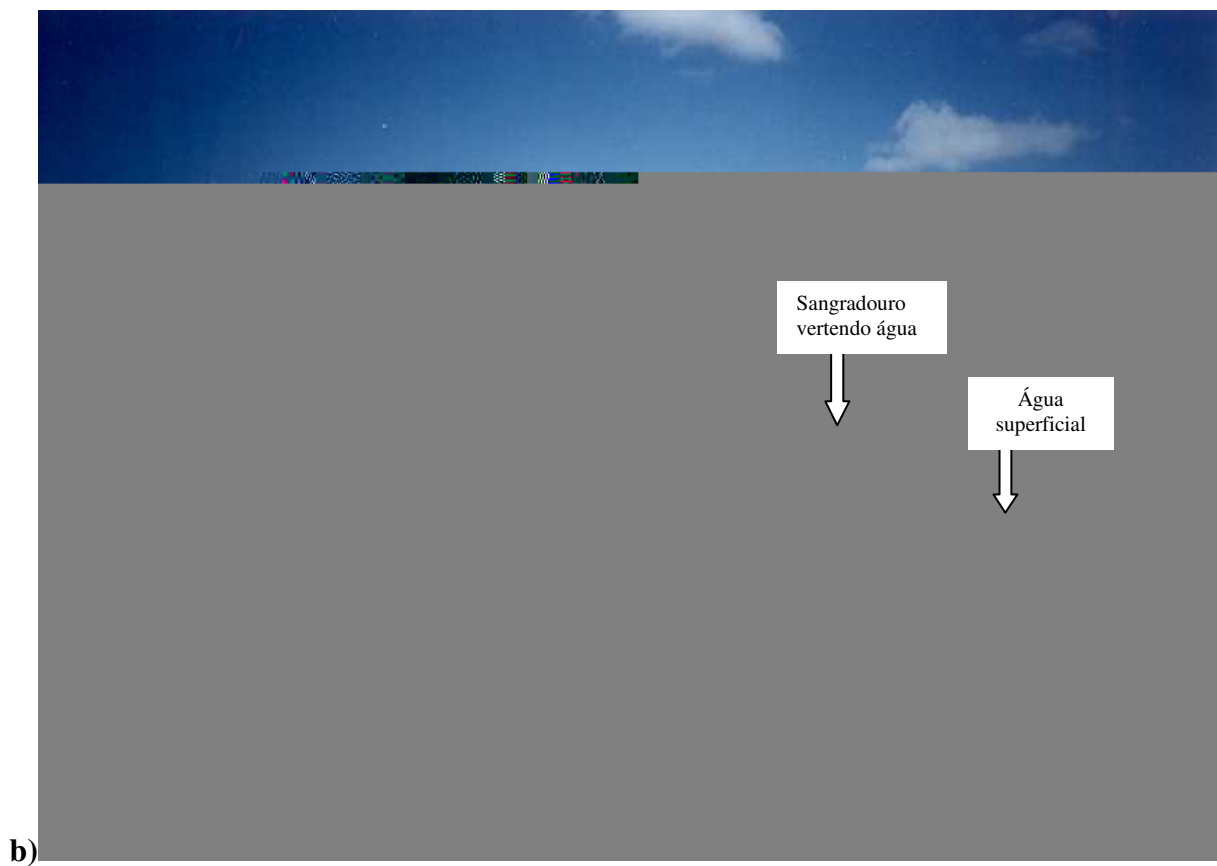
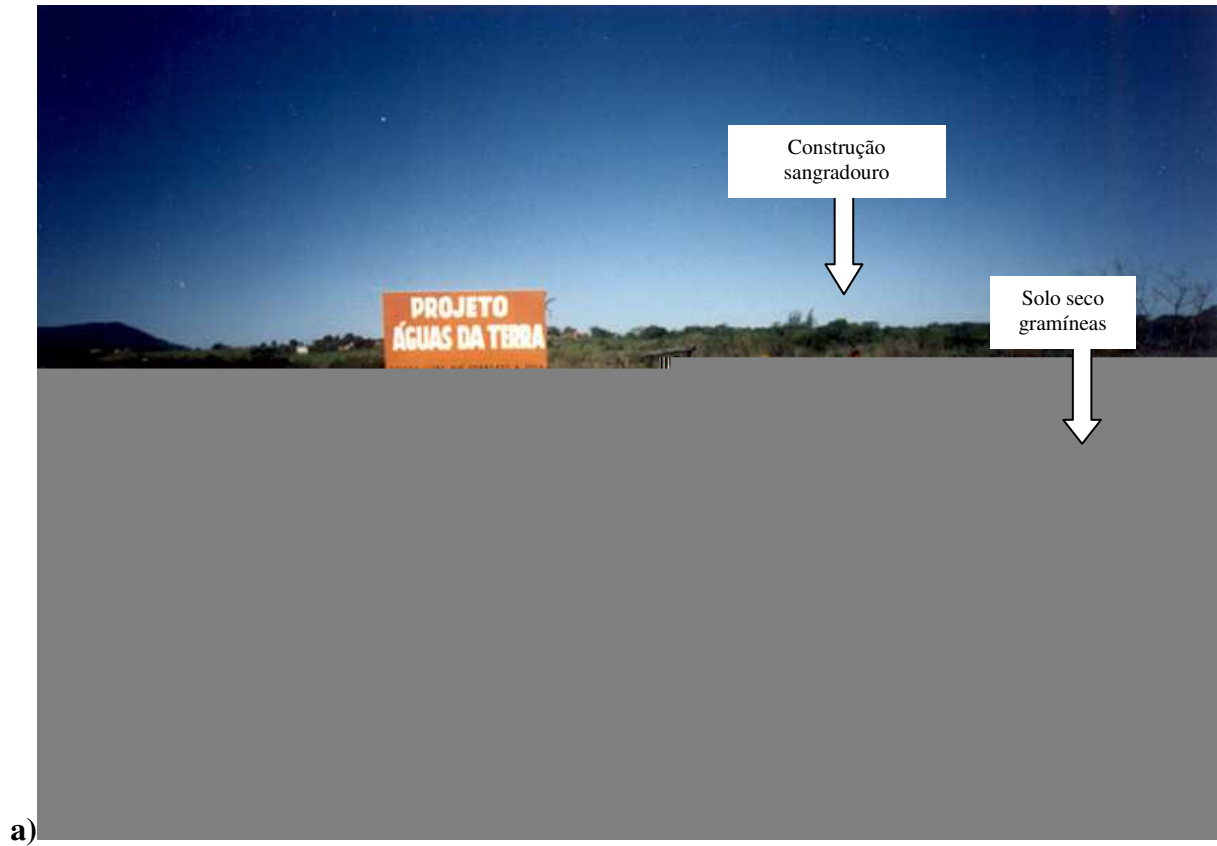


FIGURA 30 – Aspecto da área na época de construção da barragem subterrânea (a) e logo após a primeira chuva na barragem (b).

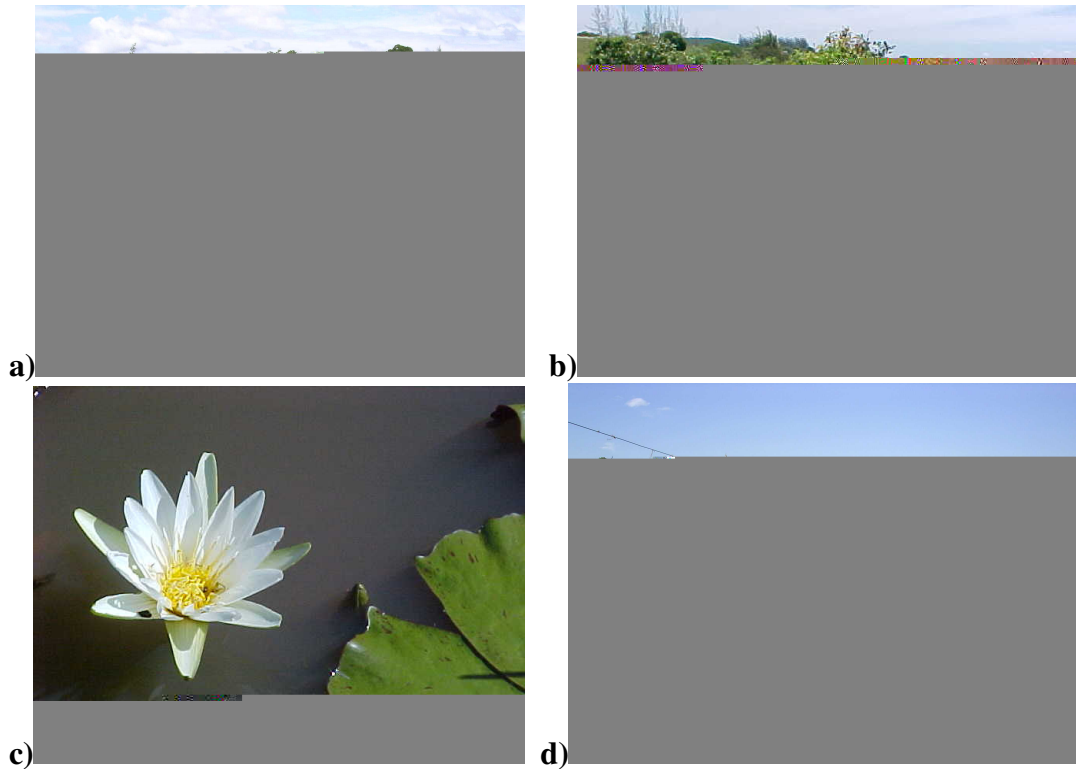


Figura 31 - Ambiente do entorno da barragem no Arrastão das Pedras: agricultor familiar sobre a barragem (a); lavoura de mandioca na superfície da bacia hidráulica(b); flor de planta do gênero *Nimphaea* (c); culturas de maracujá e amendoim (d).

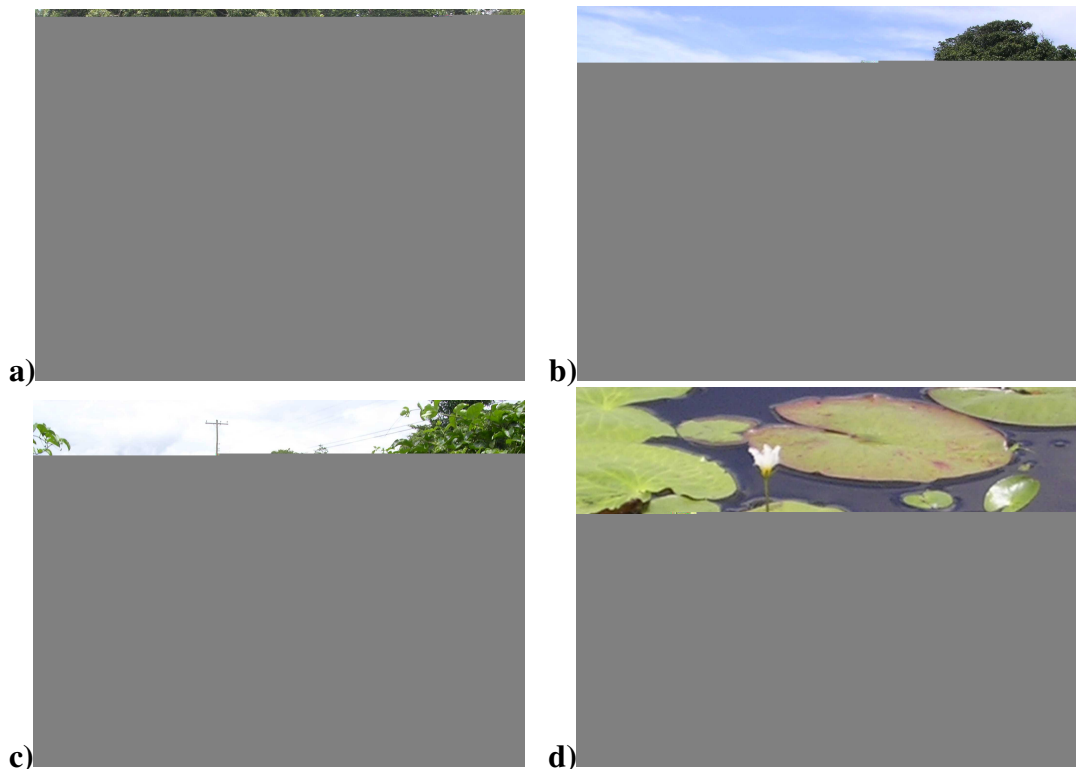


Figura 32 - Ambiente do entorno da barragem em Sapeatiba Mirim: brejo formado a montante da barragem (a); sangradouro com bananal subirrigado ao fundo (b); lavoura de maracujá consorciada com quiabo (c); Plantas do gênero *Nimphaea* na lâmina de água (d).

Na Figura 33 pode ser visualizado o uso do solo antes e depois da implantação da barragem subterrânea, em outra propriedade familiar beneficiada no Projeto Águas da Terra, na localidade de Sapeatiba Mirim. Antes, a pequena propriedade rural servia apenas como moradia da família e o solo era coberto por gramíneas nativas (Figura 33 a). Passou a ser a unidade econômica responsável pela sustentação deste pequeno agricultor, que anteriormente ocupava-se com biscates na cidade de Iguaba Grande. Seus resultados, com lavouras de maracujá, quiabo, banana e olerícolas (Figuras. 32 b e c e 33 b), implantadas após a construção da barragem, são exemplos do uso econômico que essa propriedade passou a ter, com o aumento da disponibilidade hídrica. A expansão das atividades agropecuárias do sítio, com a implantação de uma Unidade de Processamento de Frutas e a renovação do plantio de maracujá, são outras evidências do efeito positivo da obra.

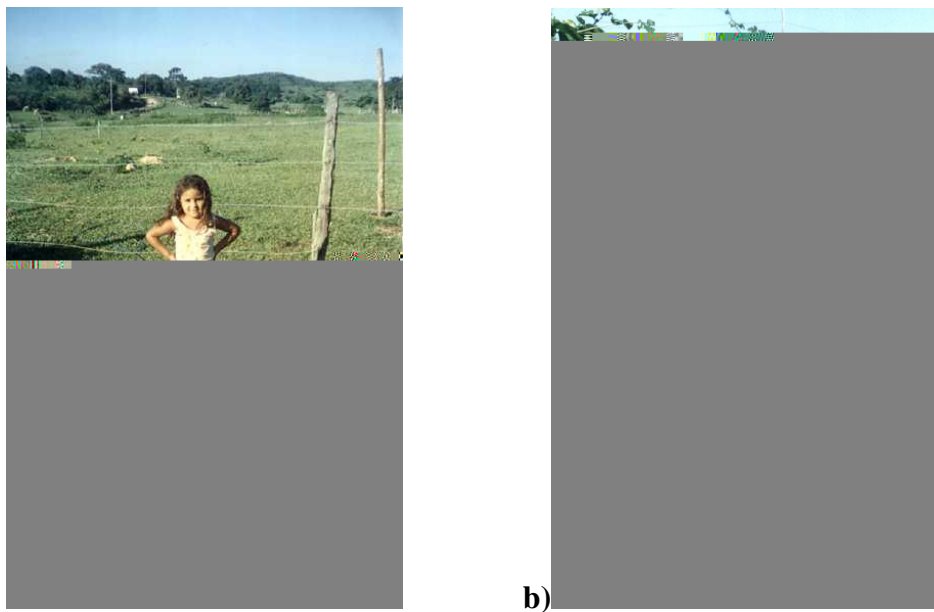


FIGURA 33 – Ocupação do solo antes (a) e depois da implantação da barragem subterrânea (b), na localidade de Sapeatiba Mirim.

A avaliação da modificação promovida pela barragem subterrânea na qualidade do solo, foi realizada mediante análise da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, da região da bacia hidráulica da barragem, cujos resultados estão especificados no Quadro 4. A medição da condutividade elétrica do solo, nas camadas superficiais e subsuperficiais, foram utilizados para avaliar possíveis processos de ascensão capilar de sais e de acúmulo superficial, devido à elevação do lençol freático promovido pela construção da barragem, associado ao processo de evapotranspiração (discutido no item 4.2.2.2).

Os dados de condutividade elétrica obtidos em todas as amostras, inclusive na testemunha (Ponto 137), todos situados na faixa considerada normal, abaixo de 4 dS/m (EMBRAPA, 1999), indicam que não está ocorrendo problema de ascensão capilar de sais, capaz de promover processo de salinização de solo. Deve ser destacado que as amostras de solo foram coletadas no mês de julho de 2005, mês em que houve excesso de precipitação, havendo inclusive recarga de água no solo (item 4.1.2). Entretanto, cabe ressaltar que essa barragem foi construída no ano 2002, não dispõe de estrutura para limpeza e não recebeu nenhum tipo de manejo visando à redução de sais até a presente data.

QUADRO 4 – Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

Descrição	Profundidade (cm)	Condutividade elétrica (ds/m)	Localização:
Pto. 131	0-20	0,564	Direita - 100 m
	20-40	0,626	
Pto.129	0-20	0,582	Talvegue - 100 m
	20-40	0,381	
Pto. 125	0-20	0,257	Esquerda - 100 m
	20-40	0,210	
Poço 2	0-20	0,340	Direita - 50 m
	20-40	0,274	
Poço 0	0-20	0,574	Talvegue - 50 m
	20-40	0,420	
Poço 6	0-20	0,261	Esquerda - 50 m
	20-40	0,447	
Pto. 137	0-20	0,646	Testemunha Perfil direito
	20-40	0,296	

* Pto – ponto de amostragem

4.6 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO

A aplicação do programa *Land Quality Indicators* (LQI) norteou a integração dos dados e a interpretação dos resultados, permitindo uma análise abrangente dos efeitos da barragem no meio ambiente. Os resultados da avaliação dos indicadores de qualidade ambiental pelo programa de LQI encontram-se no Quadro 5. Os aspectos positivos da barragem subterrânea são predominantes, com o aumento das vazões disponíveis de água subterrânea e superficial, a diversificação das lavouras, a localização da barragem em linhas de fluxo secundário, a diversidade de espécies de vegetação natural, os baixos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e a classificação da água como doce e de Classe 3. Os efeitos negativos ocorrem com menor expressão e dizem respeito ao alto nível

do lençol freático e à pequena profundidade do solo na bacia de contribuição. A análise integrada desses resultados indica que a barragem tem um efeito positivo no ambiente local, e que pode até contribuir para a recuperação de ambientes degradados. Entretanto, deve ser ressaltado que o programa de LQI não foi aplicado em sua plenitude, com análises de teores de matéria orgânica e características nutricionais do solo, avaliação da produtividade das culturas e de aspectos da fauna, bem como análises por períodos mais longos de tempo, como proposto por Dumansky e Pieri (2000).

QUADRO 5 – Avaliação de Indicadores de Qualidade Ambiental da Barragem Subterrânea.

Indicadores de qualidade ambiental	Resultado obtido na barragem subterrânea	Fator
1. Diversidade e intensidade de uso dos recursos naturais	• Aumento das vazões disponíveis de água subterrânea e superficial	+
	• Diversificação das lavouras	+
	• Localização da barragem em linhas de fluxo secundário	+
2. Cobertura de solo da bacia hidráulica	• Diversidade de espécies de vegetação natural	+
3. Qualidade do solo da bacia hidráulica	• Baixos valores de condutividade elétrica	+
4. Qualidade da água armazenada na barragem	• Água classificada como água doce de classe 3	+
	• Boa qualidade da água para irrigação	+
5. Agrobiodiversidade	• Soma dos resultados dos indicadores 1 e 2, relativos à diversificação de culturas e a diversidade de vegetação natural	+
6. Poluição e contaminação do solo	• Baixa declividade da bacia de drenagem	+
	• Alto nível do lençol freático	-
	• Pequena profundidade do solo na bacia de contribuição	-

Algumas características encontradas nessa barragem subterrânea corroboram resultados obtidos em barragens tradicionais por Albuquerque (2002), que classificou as barragens de acordo com as modificações causadas no meio físico. Este autor constatou que barragens com nível da água até 5 metros de profundidade, categoria em que se enquadra a barragem pesquisada, trazem conseqüente aumento das reservas de água subterrânea, maior facilidade de acesso à água, melhoria da umidade subsuperficial dos solos e aumento da disponibilidade de águas superficiais, favorecendo processos de perenização de cursos de água. Quanto às conseqüências negativas que se aplicam à barragem subterrânea, ressalta-se o aumento da vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea, por poluentes ou por ascensão capilar de sais e a possibilidade de perda de produtividade dos solos na região da bacia hidráulica pelo excesso de umidade.

5 DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Os resultados da caracterização climática confirmaram que o clima local é do tipo tropical subúmido seco. A variabilidade interanual da precipitação, com a ocorrência de anos muito secos e outros com grande oferta de chuvas, geralmente mal distribuídas, pode trazer grandes transtornos. A possibilidade de ocorrência de períodos secos de duração muito variável, de 30 dias até 180 dias consecutivos, prejudica o desenvolvimento vegetal, inviabilizando cultivos agrícolas, dificultando processos de regeneração da vegetação natural, além de aumentar o risco de incêndios. Por outro lado, o excesso de chuvas favorece processos de erosão dos solos e a ocorrência de pragas e doenças nas plantas. Essa irregularidade da precipitação também dificulta o planejamento das atividades rurais, relativas ao cultivo, tratos culturais, colheita e até mesmo a execução de obras de infra-estrutura rural.

A elevada evapotranspiração, quando analisada em termos médios, é responsável pelo déficit hídrico ao longo do ano inteiro, não caracterizando a existência de recarga de água em nenhum período do ano. A análise da chuva máxima em 24 horas nos 30 anos avaliados, também não trouxe respostas claras sobre as condições da recarga. A grande variação nos seus valores máximos anuais e a variação no período do ano em que elas se concentram, inviabilizou a caracterização da recarga por este parâmetro.

Os índices climáticos do ano 2005, na área da barragem subterrânea, evidenciaram um panorama bem diferente do encontrado para os dados climáticos normais da Estação Meteorológica de Iguaba Grande, havendo recarga de água no aquífero em vários meses. A característica das chuvas do citado ano, quando ocorreram excedentes hídricos em vários meses, pode prejudicar o uso generalizado dos resultados relativos à vazão e à qualidade química da água de irrigação e do solo da área da bacia hidráulica, sendo necessária a

realização de estudos mais acurados para a avaliação do comportamento destes dados em anos de precipitação escassa.

5.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA

A localização da barragem, em linhas de fluxo secundário em relação à nascente do Rio Fundo, é um fator que contribui para a redução do impacto negativo da barragem no processo de circulação natural de água no solo. O seu posicionamento e as características morfológicas da bacia de contribuição concorrem para que ela realize um papel concentrador do fluxo, e também redutor da velocidade de escoamento na bacia hidrográfica, assegurando desta forma o suprimento de água.

As características do solo encontradas na área estudada, típicas dos planossolos, são da maior importância para a definição do funcionamento hidráulico desta barragem, trazendo uma provável explicação para o fato da água da chuva verter frequentemente no sangradouro e também para o processo de acúmulo de água na barragem, após precipitações relativamente baixas. O solo de textura arenosa da camada superficial favorece a rápida infiltração de água na bacia de contribuição, logo após as chuvas. Em seguida, a água encontra a camada de adensamento de solo, horizonte pã (EMBRAPA, 1999), passando então a haver predomínio do fluxo horizontal de água, que flui rapidamente na camada de solo arenoso, indo atingir a região da bacia hidráulica, onde a água é interceptada pela barragem subterrânea e se acumula.

5.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BARRAGEM SUBTERRÂNEA

A análise dos resultados da pesquisa indica claro predomínio do fluxo superficial sobre o subterrâneo na barragem. O acompanhamento do nível linimétrico superficial no sangradouro e subterrâneo nos poços de observação, mostrou a estabilidade da superfície freática proporcionada pela barragem subterrânea, ressaltando o seu potencial regulador do abastecimento de água.

A vazão do aquífero subterrâneo encontrada é baixa, cerca de 5 m³/dia ou 0,06 l/s, por 30 dias, mostrando que essa tecnologia, nas condições em que foi implantada e na ausência de recarga, fornece pequeno volume de água oriundo exclusivamente do aquífero

subterrâneo local. Neste caso, deve ser considerada como uma reserva de água de caráter emergencial ou para uso em pequenas áreas de cultivo intensivo.

A vazão de extração de equilíbrio do poço tipo cacimba, quando sob condições de aporte de água superficial e subterrânea, é de 32 m³/dia ou 0,37 l/s, alcançando valor seis vezes superior àquele obtido de fluxo unicamente subterrâneo, ampliando bastante o potencial hidráulico da barragem subterrânea pesquisada. Esta vazão é suficiente para irrigar em torno de 1,5 hectare de frutíferas. Porém, em relação ao manejo do sistema de irrigação, é considerada uma vazão baixa, exigindo a utilização de tecnologia adequada.

A medição diária da vazão superficial apresentou valores significativos em relação à vazão do poço de extração, uma vez que apenas uma fração da vazão disponível na bacia hidrográfica é interceptada pela barragem subterrânea, reduzindo os riscos de impactos ambientais negativos a jusante pelo uso da água da barragem.

5.4 QUALIDADE DA ÁGUA DA BARRAGEM

Os resultados das análises de água da barragem subterrânea indicam que a mesma apresenta boa qualidade, de acordo com normas vigentes para uso humano e em irrigação. Entretanto, os níveis de ferro apresentaram concentrações em valores que podem provocar entupimento nos equipamentos de irrigação, sendo considerados muito altos para o consumo humano. Além disso, o pH encontra-se levemente ácido.

Embora não tenham sido encontrados elementos químicos em quantidades tóxicas na água da barragem, a textura arenosa do solo das camadas superficiais e a elevada altura do lençol freático barrado são características que devem ser consideradas, avaliando-se os riscos de ocorrência de contaminação do solo da bacia de contribuição por dejetos de animais ou por agrotóxicos aplicados na agricultura e de salinização de solo em anos muito secos.

No caso de uso dessa água para consumo humano, devem ser realizadas análises mais abrangentes envolvendo avaliações microbiológicas e de caracterização físico-química específicas, além de tratamento para eliminação do ferro e redução do pH.

Quanto à utilização para irrigação de lavouras, é recomendável a realização de tratamento para a redução da concentração de ferro, mediante a instalação de aeradores para promover sua oxidação e precipitação, e posterior filtragem. Eventuais necessidades de correção de problemas relativos ao baixo pH da água, podem ser conseguidas por meio da aplicação de calcário diretamente na água do poço ou na superfície do solo.

Em relação aos baixos valores de condutividade elétrica, espera-se que não venham a acarretar problemas à capacidade de infiltração do solo, mesmo que a relação 3:1 entre as concentrações de sódio e cálcio seja excedida, por tratar-se de solo arenoso. Caso ocorra algum comprometimento da capacidade de infiltração do solo devido aos baixos teores de sais da água da barragem, pode-se contorná-lo por meio de tratamento químico, após a confirmação desse tipo de problema por meio de análises realizadas em período mais longo. Isto pode ser feito com a aplicação de gesso, calcário e outros corretivos incorporados à água ou ao solo, que neutralizam os riscos ao meio ambiente, conferidos pelos baixos valores de condutividade elétrica, de relação de adsorção de sódio e de pH. Técnicas de cultivo que promovam a agregação do solo e de mecanização agrícola visando ao rompimento de crosta superficial de solo, também podem ser utilizadas para minimizar o problema.

Por outro lado, os índices acima analisados e as concentrações de elementos químicos podem vir a sofrer grande variação em anos de baixa precipitação, como foi constatado pela RESUB (2001). Esta instituição verificou a ocorrência de elevadas concentrações de sais dissolvidos na água de poços, em amostras coletadas no segundo semestre dos anos 1999 e 2000, em diversos pontos próximos de área pesquisada (item 2.4). De acordo com a caracterização climática descrita no item 4.1.1, no ano de 1999 ocorreram seis meses secos, sendo cinco consecutivos, entre os meses de maio e setembro. A escassez de precipitação por longo período no ano 1999 pode ter sido um dos fatores responsáveis pelos altos teores de sais encontrados no estudo da RESUB (2001).

A irregularidade da precipitação detectada no presente estudo e o histórico da área referente ao risco de salinidade da água subterrânea, indicam a necessidade de monitoramento da qualidade da água da barragem e do solo da bacia hidráulica. Isto pode ser realizado por meio de análises periódicas da condutividade elétrica da água da barragem e do extrato de saturação do solo da superfície da bacia hidráulica. Em caso de ocorrência de acúmulo de sais ou de outros elementos tóxicos, pode ser realizada uma limpeza da barragem, mediante o esgotamento da água armazenada na época mais seca do ano e a renovação da mesma no período chuvoso, promovendo uma lavagem interna (SILVA *et al*, 1998; BRITO *et al*, 1999).

5.5 SUSTENTABILIDADE DO PROJETO

O acúmulo de água superficial próxima ao corpo da barragem, ao sangradouro e em parte do talvegue, trouxe uma grande modificação no ecossistema local, havendo um aumento

significativo da quantidade de espécies vegetais. Como anteriormente essa parte do solo era coberta por gramíneas e passou a ser ocupada por plantas dos gêneros *Nymphaea*, *Typha* e *Cecropia*, em um ambiente rico em água, houve um aumento da diversidade de espécies no local, caracterizando um efeito ambiental positivo.

Por outro lado, a presença de água disponível para irrigação contribuiu para uma mudança efetiva na ocupação do solo, favorecendo o policultivo, o uso de tecnologia de irrigação localizada e a intensificação do aproveitamento agrícola da pequena propriedade rural. A baixa condutividade elétrica da água da barragem e do extrato de saturação do solo foi também um indicador de qualidade ambiental importante, sugerindo a aplicabilidade da tecnologia de barragens subterrâneas para uso agrícola e até mesmo como uma obra auxiliar em projetos de recuperação ambiental.

Os resultados da aplicação do programa LQI nos dados do ano 2005, indicam que a barragem promoveu a melhoria da qualidade ambiental, considerando a conservação dos recursos naturais como um conceito que engloba a manutenção da integridade dos componentes do ecossistema, aliada ao uso de bens e serviços pelo homem. Entretanto, a aplicação do programa de LQI na presente pesquisa deve ser considerada apenas como uma das fases integrantes do processo de avaliação, sendo necessário verificar o comportamento dos dados ao longo de alguns anos.

6 CONCLUSÃO

Verificou-se que a barragem subterrânea pesquisada funciona como um reservatório de água superficial e subterrânea, que pode fornecer água em grande parte do ano. No período chuvoso, ela mantém uma vazão que viabiliza a irrigação de pequenas lavouras e na época seca, quando cessa o escoamento superficial e a recarga, fornece uma vazão baixa, por tempo limitado. Por outro lado, a elevação do nível do lençol freático na região da bacia hidráulica, promove o aumento da umidade do solo, possibilitando o seu aproveitamento para o cultivo subirrigado. De modo geral, a barragem apresentou vazão reduzida. Porém, o fato de disponibilizar volume conhecido de água, por longos períodos do ano, pode significar o sucesso de um empreendimento agropecuário de pequeno porte, viabilizando o uso de irrigação localizada durante grande parte do ano, o uso de irrigação emergencial nos períodos de estresse hídrico, além do aumento da produtividade das culturas estabelecidas na superfície da bacia hidráulica. Também deve ser ressaltada a importância da modificação promovida pela barragem no ambiente, com a formação de brejo e o aumento da biodiversidade. Entretanto, tendo em vista a irregularidade da precipitação, a pequena duração da pesquisa e a fragilidade do ambiente local, é recomendável manter um monitoramento quali-quantitativo da água da barragem, evitando o risco de uso de água inadequada ou de impactos negativos a jusante da barragem.

O desenvolvimento de uma visão global do ecossistema afetado pela construção de uma barragem subterrânea e a sua análise sob o ponto de vista da sustentabilidade ambiental, exigiram a integração de uma grande diversidade de dados. O uso de Sistemas de Informação Geográfica, associado a programas de computador para representação e simulação do funcionamento do aquífero barrado, representou um avanço significativo para o entendimento desse sistema hidrológico, viabilizando uma análise precisa do efeito da barragem subterrânea no sistema da microbacia hidrográfica do Córrego Fundo e a determinação das suas

potencialidades e limitações. Além disso, a análise da qualidade ambiental da barragem subterrânea por meio de uma matriz de Indicadores de Qualidade das Terras (LQI) norteou a integração e a interpretação das informações da pesquisa, possibilitando o aprimoramento do processo de avaliação dos impactos ambientais decorrentes do emprego da tecnologia de barragens subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro, podendo também ser empregada na análise de outras intervenções antrópicas em ecossistemas rurais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. *Quality Water for Agriculture*. Roma: FAO, 1985. 85 p. (FAO Study: Irrigation and Drainage, 29 Revised 1).
- ALBUQUERQUE FILHO, José Luiz. *Previsão e análise da elevação do lençol freático no processo de Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) de reservatórios hidroelétricos*. 223f. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.
- ALTIERI, Miguel. *Agroecologia – A dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFGRS, 2004. 110 p. (Síntese Universitária)
- BRITO, Luiza. T. Lima et al. *Barragem Subterrânea I: Construção e manejo*. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, 1989. 38 p. (Boletim de Pesquisa, 36).
- BRITO, Luiza T. Lima et al. Alternativa Tecnológica para Aumentar a Disponibilidade de Água no Semi-Árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.3, n.1, p. 111-115, 1999.
- BALLOFFET, A; GOTELLI, L. M.; MEOLI, G. A. *Hidráulica*. Buenos Aires: Ediar S.A., 1952. 2 v.
- BARBIERI, Evandro Biassi. Ritmo Climático e Extração do Sal em Cabo Frio. Separata de: *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, v. 37(4), p. 23-109, out./dez. 1975.
- BARBIERI, Evandro Biassi. Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: LACERDA, L.D. et al (Eds). *Restingas: Origem, Estrutura, Processos*. Niterói: CEUFF, 1984. p.3-13.
- BOHRER, Cláudio Bohrer A. Evolução da cobertura de florestas e de vegetação secundária no Estado do Rio de Janeiro. In: PERES, Waldir Rugero; SCHEUFLER, Gerson Álvaro (Eds). *Índice de Qualidade dos Municípios – IQM Verde II*. 2. ed. ampl. rev. Rio de Janeiro: Fundação CIDE, 2003. 156 p., cap. 6, p. 71-97.
- BRASIL. Portaria ANVISA nº 518, de 25 de março de 2004 de 25 de março de 2004. Aprova as normas de qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 26 de mar. 2004.

- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Aprova a classificação e enquadramento dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, v. 53, p. 58-63, 18 de mar. de 2005. Seção I.
- CAMPOS, Cláudio Milton M. Qualidade da Água para Fertilização. In: FOLEGATTI, Marcus Vinicius et al. *Fertilização*. Guaíba: Agropecuária, 2001. 336 p., p. 105-141.
- CAPUTO, Homero Pinto. Permeabilidade dos Solos. In: _____ *Mecânica dos Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1972. v. 1, cap. 8, p. 69-83.
- CAVALCANTI, Malva Andréa M. P. *A modelagem matemática associada ao sistema de informação geográfica como instrumento de previsão no estudo do impacto hidrogeológico de reservatórios*. 188 f. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CLEARY, Robert. Águas Subterrâneas. In: RAMOS, Fabio et al. *Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: UFRJ, 1989. cap. 5, p. 293-404. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2).
- CILSJ (Consórcio Intermunicipal Lagos São João). *Regiões e Bacias: Bacias Hidrográficas. Região hidrográfica da bacia do rio Una e do cabo de Búzios*. In: _____ *Base de dados do Consórcio Intermunicipal Lagos São João* Rio de Janeiro: CISJL, 2004. Disponível: <<http://www.riolagos.com.br/cilsj/>>. Acesso em: 26 jun. 2004.
- COSTA, Waldir Duarte. *Manual de Barragens Subterrâneas*. 3. ed. Recife: Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, 2004. 49 p.
- CSD (Comission on Sustainable Development). *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World: Report of Secretary-General*. USA: United Nations Economic and Social Council, 1997. Disponível: <<http://www.un.org/documents/ecsoc/cn17/1997/ecn-9.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2005.
- DANTAS, Marcelo Eduardo. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2001. p. 95-195. CD-ROM
- DANTAS, Marcelo Eduardo et al. Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2001. 1 mapa col., escala 1:500.000. CD-ROM.
- DAVIS, Elisabeth Girelman; NAGHETTINI, Mauro Cunha. Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Rio de Janeiro*. 2. ed. rev. amp. Brasília: CPRM, 2001. p. 390-534. CD-ROM
- DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Washington: Elsevier, v. 81, p. 93-102, 2000. Disponível: <<http://www.elsevier.com/locate/agee>>. Acesso em: 7 ago. 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. rev. e amp. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1997. 212 p.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. xxvi, 421p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Mapa de Solos e de Vulnerabilidade da Região dos Lagos*. In: Base de Dados da EMBRAPA – Iniciativa Solos. 1 mapa col., Escala 1:100.000. Disponível: <http://mapserver.cnps.embrapa.br/website/pb/Regiao_Lagos/viewer.htm>. Acesso em: 20 jan. 2006.
- FREEZE, Allan R.; CHERRY, Jhon A.; *Groundwater Prentice-Hall International*. New Jersey: Englewood Cliffs, 1979. 604 p.
- FREITAS, Iara Mello; BOHRER, Cláudio Belmonte A.; OLIVEIRA, Jorge Luiz F. O clima do município de Iguaba Grande (RJ): características, vegetação natural e agricultura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 11, 2005. São Paulo. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada*. São Paulo: USP, 2005.
- FUNDAÇÃO CIDE. *Mapa das Grandes Bacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro*. IN: _____ Centro de Informação e Dados do Rio de Janeiro – LABGEO. 1 mapa col. Escala 1:450.000 Disponível: <http://200.156.34.126/Website/LabGeo/index.htm> Acesso em: 19 abr. 2006
- GALVÃO, Marília Velloso. Regiões Bioclimáticas do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, v. 29(1), p. 3-36, jan/mar, 1967.
- GAUSSEN, Henry; BAGNOULS, F. Os climas biológicos e sua classificação. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro: IBGE, n. 176, set – out, 1963.
- GOLFARI, Lambert. *Zoneamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: BD – RIO, 1980. 1 mapa col., 114 cm x 82 cm. Escala 1:400.000.
- GRAYMAN, Walter M.; ROSSMAN, Lewis A.; GELDREICH, Edwin. Water Quality. In: MAYS, Larry W. *Water Distribution Systems Handbook*. U. S.: MacGraw-Hill, 2004. cap. 9, f. 1-24. Disponível: <www.digitalengineeringlibrary.com [Water Quality 0071453458-ar 009.pdf]>. Acesso em: 28 abr.2006.
- LAMÊGO, Alberto R. A Terra. In: _____. *O Homem e a Restinga*. 2 ed. Rio de Janeiro: Lidador, 1974. cap. 3, p. 19-99.
- LAWLESS, Gary. Setting the Scene. In: UNESCO. *The World's Water Crisis*. The United Nations World Water Development Report. Barcelona: 2003. part. I, p. 1-22. Disponível: <<http://www.unesco.org>>. Acesso em: 20 maio 2006.
- LEONARDO, Hudson Carlos L. *Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná*. 121 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

- MAC DONALD, M. G.; HARBAUGH, A. W. *A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model*. Washington: U. S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, 1988. 586 p.
- MELIANDE, Patrícia. *Gestão de Recursos Hídricos – Modelagem Computacional para Análise do Potencial Hídrico Subterrâneo com o Emprego do Software Modflow*. 116 f. Dissertação (mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2003.
- MONTENEGRO, Suzana Maria G. L.; MONTENEGRO, Abelardo Antônio A. Aproveitamento Sustentável de Aquíferos Aluviais no Semi-Árido. In: CABRAL, Jaime J. S. P. et al. (Orgs.) *Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*. Recife: UFPE, 2004. cap. 2, p.61-126.
- PATERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da Água. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M (Ed) *Irrigação*. 2 ed. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 195-253 (Série Engenharia Agrícola, 1).
- REICHARDT, Klaus; TIMM, Luis Carlos. A água em equilíbrio. In: _____. *Solo, Planta e Atmosfera*. Conceitos, Processos e Aplicações. Brasil: Editora Manole Ltda., 2004. 478 p., cap. 6, p. 87-132.
- RESUB (Rede Cooperativa de Água Subterrânea). Caracterização Hidrogeológica Básica dos Municípios de São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande. In: _____. *PROJETO ReSuB LAGOS*. Rio de Janeiro: UFF, 2001. 50 p.
- RESUB (Rede Cooperativa de Água Subterrânea). *Carta de Unidades Hidrogeológicas de São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande*. Rio de Janeiro. UFF, 2000a. 1 mapa col. Escala 1:50.000. CD-ROM.
- RESUB (Rede Cooperativa de Água Subterrânea). *Mapa de Pontos e Qualidade das Águas Subterrâneas na Região dos Lagos*. Rio de Janeiro. UFF, 2000b. 1 mapa col. Escala 1:100.000. CD-ROM.
- RICHARDS, L.A.. (Ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60)
- ROLIM, Glauco S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria: UFSM, v.6, n.1, p. 133-137, 1998.
- SERAGELDIN, Ismail (Org.). *World Water Vision Comission Report: a water secure world*. WWC, 2000. cap. 2, p. 11-19. Disponível: <<http://www.worldwatercouncil.org/Vision/Documents/CommissionReport>>. Acesso em: 18 abr. 2005.
- SHIKLOMANOV, I. A. World water resources: a new appraisal and assessment for 21st century. IHP: UNESCO, 1998. 32 p.

- SILVA, Luiz Carlos; CUNHA, Helio Canejo S. Geologia do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Rio de Janeiro*. 2. ed. rev. Brasília: CPRM, 2001. p. 1-77. CD-ROM.
- SILVA, Maria Sônia L. et al. *Barragem Subterrânea*. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. Não paginado. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas; 49).
- SILVA, Maria Sônia L. Exploração agrícola em barragem subterrânea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.6, p. 975-980, jun.1998.
- SILVA. P.M.M. A ressurgência em Cabo Frio. *Instituto de Pesquisa da Marinha*, Rio de Janeiro: Ministério da Marinha, v. 78, p. 1-56, 1973.
- SMEDEMA, Lambert K.; RYCROFT, D. W. Introduction - Water in the soil. In: _____. *Land Drainage - Planning and design of agriculture drainage systems*. London: BT Batsford Ltd, 1983. cap. 1, p. 15-44.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, London: n.38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Certeton, 1955.
- TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Manejo Integrado dos Recursos Hídricos. In: _____. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília: UNESCO-Brasil, 2001. Cap. 2, p. 27-84.
- TURCQ, B. et al. Origin and evolution of Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cape Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B. A.; BIDONE, E. D.; ABRÃO, J. J. (Eds). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System of Rio de Janeiro, Brazil*. Rio de Janeiro: SBGq, 1999. v. 6, p. 25-46. (Série Geoquímica Ambiental, nº 6).
- WEBER, William (Ed.) Macrorregiões Ambientais. In: _____. *Ambiente das Águas no Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 230 p., p. 11-20. (Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ)
- WORRALL, Fred; BESIEN, Tim. The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells. *Journal of Hydrology*, v. 303, p. 92-107, 2005. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhydrol>. Acesso em: 20 maio 2006.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). *La Seguridad del Agua: Evaluación preliminar de los avances em materia de políticas desde Rio*. Paris: WWAP, 2001. Disponível em: <<http://www.unesco.brasil.org>>

8 APÊNDICE

8.1 CÁLCULO DO ÍNDICE XEROTÉRMICO. DADOS CLIMÁTICOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IGUABA GRANDE (1970-1999).

Meses	Dias sem chuva	Umidade Relativa (%)	Índice Xerotérmico
janeiro	20	76.50	15.35
fevereiro	21	74.60	16.32
março	22	77.40	16.79
abril	20	78.00	15.20
maio	22	78.70	16.64
junho	22	78.30	16.69
julho	23	77.40	17.55
agosto	23	76.30	17.68
setembro	19	77.50	14.49
outubro	20	78.20	15.18
novembro	18	78.20	13.66
dezembro	18	77.80	13.70
Total anual	247	77.40	188.46

*Célula destacada em vermelho corresponde ao mês de índice xerotérmico mais alto.

8.2 BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DA ÁREA DE ESTUDO NO ANO 2005.

Tempo (Decêndio)	Num. Dias	NDA	T °C	P mm	N horas	ETP Thornthwaite ¹⁹⁴⁸	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan. 1	10	1	27,3	10	13,4	53,34	-43,3	-43,3	64,83	-35,17	45,2	8,2	0
Jan. 2	10	11	25,7	63	13,3	45,2	17,8	-19,1	82,63	17,8	45,2	0	0
Jan. 3	11	21	27,3	95,5	13,2	58,26	37,2	0	100	17,37	58,3	0	19,9
Fev. 1	10	32	24,8	60	13	40,2	19,8	0	100	0	40,2	0	19,8
Fev. 2	10	42	24,9	18	12,8	40,16	-22,2	-22,2	80,12	-19,88	37,9	2,3	0
Fev. 3	8	52	25,6	8	12,6	34,44	-26,4	-48,6	61,5	-18,62	26,6	7,8	0
Mar. 1	10	60	25,3	123	12,5	40,86	82,1	0	100	38,5	40,9	0	43,6
Mar. 2	10	70	27,4	18,1	12,2	50,09	-32	-32	72,64	-27,36	45,5	4,6	0
Mar. 3	11	80	26,2	19,5	12	48,13	-28,6	-60,6	54,57	-18,06	37,6	10,5	0
Abr. 1	10	91	27,2	4	11,8	47,74	-43,8	-104,3	35,23	-19,35	23,3	24,4	0
Abr. 2	10	101	25,4	2,3	11,6	38,54	-36,3	-140,6	24,51	-10,72	13	25,6	0
Abr. 3	10	111	24	78,7	11,4	32,09	46,6	-34,1	71,11	46,6	32,1	0	0
Mai. 1	10	121	21,8	29,4	11,2	23,85	5,6	-26,5	76,71	5,6	23,8	0	0
Mai. 2	10	131	26,1	0	11	39,5	-39,5	-66	51,68	-25,03	25	14,5	0
Mai. 3	11	141	22,1	45,2	10,8	26,37	18,8	-35	70,48	18,81	26,4	0	0
Jun. 1	10	152	23,8	2,2	10,7	29,36	-27,2	-62,2	53,69	-16,79	18,9	10,4	0
Jun. 2	10	162	22,5	0,6	10,6	24,67	-24,1	-86,3	42,2	-11,5	12,1	12,6	0
Jun. 3	10	172	21	46,4	10,6	20,06	26,4	-37,7	68,56	26,36	20,1	0	0
Jul. 1	10	182	21,3	87,2	10,6	20,86	66,3	0	100	31,44	20,9	0	34,9
Jul. 2	10	192	20,6	28,9	10,7	18,97	9,9	0	100	0	19	0	9,9
Jul. 3	11	202	20,6	0	10,8	21,11	-21,1	-21,1	80,97	-19,03	19	2,1	0
Ago. 1	10	213	20,8	1,7	11	19,83	-18,1	-39,2	67,55	-13,43	15,1	4,7	0
Ago. 2	10	223	21,6	0,6	11,1	22,45	-21,9	-61,1	54,27	-13,27	13,8	8,6	0

Tempo (Decêndio)	Num. Dias	NDA	T °C	P mm	N horas	ETP Thornthwaite1948	P-ETP mm	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Ago. 3	11	233	21,5	19,8	11,3	24,9	-5,1	-66,2	51,58	-2,69	22,5	2,4	0
Set. 1	10	244	21,6	12,5	11,6	23,2	-10,7	-76,9	46,33	-5,25	17,7	5,5	0
Set. 2	10	254	21,1	30	11,8	22,11	7,9	-61,2	54,23	7,9	22,1	0	0
Set. 3	10	264	21,4	46,7	12	23,47	23,2	-25,5	77,47	23,24	23,5	0	0
Out. 1	10	274	24,6	0	12,2	35,82	-35,8	-61,4	54,14	-23,32	23,3	12,5	0
Out. 2	10	284	24,1	6,8	12,5	34,37	-27,6	-88,9	41,09	-13,05	19,8	14,5	0
Out. 3	11	294	24,4	91,7	12,7	39,72	52	-7,2	93,09	52	39,7	0	0
Nov. 1	10	305	22,4	62	12,9	28,77	33,2	0	100	6,91	28,8	0	26,3
Nov. 2	10	315	24,6	10,5	13	38,39	-27,9	-27,9	75,64	-24,36	34,8	3,6	0
Nov. 3	10	325	24,3	22,6	13,2	37,54	-14,9	-42,8	65,18	-10,46	33,1	4,4	0
Dez. 1	10	335	23,1	56,6	13,3	32,76	23,9	-11,6	89,03	23,85	32,8	0	0
Dez. 2	10	345	25,4	76,7	13,4	43,5	33,2	0	100	10,97	43,5	0	22,3
Dez. 3	11	355	24,8	25,5	13,4	44,74	-19,3	-19,3	82,48	-17,52	43	1,7	0
TOTAIS			856,6	1203,6	432,1	1225,3							
MÉDIAS			23,8	33,4	12	34							

* T - temperatura, P - precipitação, N - fotoperíodo, ETP - evapotranspiração, ARM - armazenamento, NTD – número total de dias, ETR - evapotranspiração real, DEF - déficit hídrico e EXC – excedente hídrico.

8.3 PRECIPITAÇÃO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA BARRAGEM E VAZÃO NO SANGRADOURO. VALORES MEDIDOS DIARIAMENTE NO ANO 2005.

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)	
Janeiro	1					
	2	10,00				
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10			0,015	0,0018	0,0031
	11	43,00		0,015	0,0018	0,0031
	12	10,00		0,010	0,0010	0,0017
	13			0,010	0,0010	0,0017
	14			0,010	0,0010	0,0017
	15			0,010	0,0010	0,0017
	16			0,005	0,0004	0,0006
	17			0,000		
	18	5,00		0,005	0,0004	0,0006
	19	5,00		0,005	0,0004	0,0006
	20			0,005	0,0004	0,0006
	21	7,50		0,005	0,0004	0,0006
	22			0,005	0,0004	0,0006
	23			0,005	0,0004	0,0006
	24	9,00		0,005	0,0004	0,0006
	25			0,005	0,0004	0,0006
	26	50,00		0,015	0,0018	0,0031
	27			0,015	0,0018	0,0031
	28			0,015	0,0018	0,0031
	29			0,010	0,0010	0,0017
	30	9,00		0,010	0,0010	0,0017
	31	20,00		0,015	0,0018	0,0031
Fevereiro	1	20,00	0,015	0,0018	0,0031	
	2		0,015	0,0018	0,0031	
	3		0,015	0,0018	0,0031	
	4	30,00		0,015	0,0018	0,0031
	5			0,01	0,0010	0,0017
	6			0,01	0,0010	0,0017
	7			0,01	0,0010	0,0017
	8			0,01	0,0010	0,0017
	9			0,015	0,0018	0,0031
	10	10,00		0,01	0,0010	0,0017
	11			0,01	0,0010	0,0017
	12	18,00		0,005	0,0004	0,0006
	13			0,015	0,0018	0,0031
	14			0,015	0,0018	0,0031
	15			0,005	0,0004	0,0006
	16			0,005	0,0004	0,0006

continuação

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	18		0,005	0,0004	0,0006
	19		0,005	0,0004	0,0006
	20		0,005	0,0004	0,0006
	21		0,005	0,0004	0,0006
	22		0,005	0,0004	0,0006
	23		-0,005		
	24		-0,015		
	25		-0,025		
	26		-0,025		
	27		-0,025		
	28	8,00	-0,015		
Março	1		-0,015		
	2		-0,005		
	3	55,00	0,015	0,0018	0,0031
	4	68,00	0,015	0,0018	0,0031
	5		0,015	0,0018	0,0031
	6		0,015	0,0018	0,0031
	7		0,01	0,0010	0,0017
	8		0,005	0,0004	0,0006
	9		0,005	0,0004	0,0006
	10		0,005	0,0004	0,0006
	11		0,005	0,0004	0,0006
	12		0,005	0,0004	0,0006
	13		0,005	0,0004	0,0006
	14		0,005	0,0004	0,0006
	15		0,005	0,0004	0,0006
	16		-0,005		
	17		-0,015		
	18	18,12	-0,015		
	19		-0,015		
	20		0,015	0,0018	0,0031
	21		0,01	0,0010	0,0017
	22		0,01	0,0010	0,0017
	23	18,12	0,01	0,0010	0,0017
	24	1,42	0,01	0,0010	0,0017
	25		0,015	0,0018	0,0031
	26		0,01	0,0010	0,0017
	27		0,01	0,0010	0,0017
	28		0,01	0,0010	0,0017
	29		0,01	0,0010	0,0017
	30		0,01	0,0010	0,0017
	31		0,005	0,0004	0,0006
Abril	1		0,005	0,0004	0,0006
	2		0,005	0,0004	0,0006
	3		0,005	0,0004	0,0006
	4		-0,005		
	5	3,96	-0,005		
	6		0,005	0,0004	0,0006
	7		0,005	0,0004	0,0006
	8		-0,005		

Meses	Dias	Precipitação	Linimetria	H 3/2	Vazão
-------	------	--------------	------------	-------	-------

continuação

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	31		0		
Junho	1	2,15	0		
	2		0		
	3		0		
	4		-0,01		
	5		-0,01		
	6		-0,02		
	7		-0,02		
	8		-0,02		
	9		-0,02		
	10		-0,02		
	11		-0,02		
	12		-0,02		
	13		-0,02		
	14		-0,02		
	15		-0,02		
	16		-0,02		
	17		-0,02		
	18		-0,04		
	19	0,57	-0,04		
	20		-0,04		
	21	30,57	-0,04		
	22	14,15	0,02	0,0028	0,0048
	23	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	24		0,01	0,0010	0,0017
	25		0,01	0,0010	0,0017
	26		0		
	27		0		
	28		0		
	29		0		
	30		0		
Julho	1		-0,02		
	2		-0,02		
	3		-0,02		
	4		-0,02		
	5		-0,02		
	6	31,14	-0,02		
	7	25,48	0,01	0,0010	0,0017
	8	14,15	0,01	0,0010	0,0017
	9	13,59	0,01	0,0010	0,0017
	10	2,83	0,01	0,0010	0,0017
	11		0,01	0,0010	0,0017
	12		0,01	0,0010	0,0017
	13		0,01	0,0010	0,0017
	14		0,01	0,0010	0,0017
	15		0,01	0,0010	0,0017
	16		0,01	0,0010	0,0017
	17		0,01	0,0010	0,0017
	18		0,01	0,0010	0,0017
	19	27,18	0,02	0,0028	0,0048

continuação

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	20	1,70	0,02	0,0028	0,0048
	21		0,02	0,0028	0,0048
	22		0,01	0,0010	0,0017
	23		0,01	0,0010	0,0017
	24		0,01	0,0010	0,0017
	25		0,01	0,0010	0,0017
	26		0,01	0,0010	0,0017
	27		0,01	0,0010	0,0017
	28		0,01	0,0010	0,0017
	29		0,01	0,0010	0,0017
	30		0,01	0,0010	0,0017
	31		0,01	0,0010	0,0017
Agosto	1		0,01	0,0010	0,0017
	2		0,01	0,0010	0,0017
	3		0,01	0,0010	0,0017
	4		0,01	0,0010	0,0017
	5		0,01	0,0010	0,0017
	6		0,01	0,0010	0,0017
	7		0,01	0,0010	0,0017
	8		0,01	0,0010	0,0017
	9	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	10		0,01	0,0010	0,0017
	11		0,01	0,0010	0,0017
	12	0,57	0,01	0,0010	0,0017
	13		0,01	0,0010	0,0017
	14		0,01	0,0010	0,0017
	15		0,01	0,0010	0,0017
	16		0,01	0,0010	0,0017
	17		0,01	0,0010	0,0017
	18		0,01	0,0010	0,0017
	19		0		
	20		-0,01		
	21		0		
	22		0		
	23		-0,01		
	24		-0,01		
	25	19,82	-0,01		
	26		0		
	27		-0,01		
	28		0		
	29		0		
	30		-0,01		
	31		-0,01		
Setembro	1		-0,01		
	2		-0,03		
	3	1,70	-0,04		
	4		-0,04		
	5		-0,05		
	6		-0,05		
	7	4,53	-0,04		
	8	3,96	-0,02		

continuação

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	9	2,26	-0,02		
	10		-0,02		
	11		-0,02		
	12		-0,03		
	13	26,04	-0,04		
	14	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	15		0,01	0,0010	0,0017
	16		0,01	0,0010	0,0017
	17		0		
	18	2,26	0,01	0,0010	0,0017
	19		0,01	0,0010	0,0017
	20		0,01	0,0010	0,0017
	21		0,01	0,0010	0,0017
	22	2,26	0		
	23		0,01	0,0010	0,0017
	24	16,42	0,01	0,0010	0,0017
	25		0,01	0,0010	0,0017
	26	19,25	0,01	0,0010	0,0017
	27	7,08	0,02	0,0030	0,0048
	28	1,70	0,02	0,0030	0,0048
	29		0,01	0,0010	0,0017
	31		0,01	0,0010	0,0017
Outubro	1		0,01	0,0010	0,0017
	2		0,01	0,0010	0,0017
	3		0,01	0,0010	0,0017
	4		0,01	0,0010	0,0017
	5		0		
	6		-0,01		
	7		-0,01		
	8		-0,01		
	9		-0,01		
	10		-0,02		
	11		-0,04		
	12		-0,04		
	13		-0,06		
	14		-0,06		
	15		-0,08		
	16		-0,09		
	17		-0,11		
	18		-0,13		
	19	6,79	-0,15		
	20		-0,14		
	21		-0,15		
	22		-0,16		
	23		-0,18		
	24	1,70	-0,2		
	25		-0,23		
	26		-0,26		
	27		-0,26		
	28	58,32	-0,29		
	29	1,70	0,02	0,0030	0,0048

continuação

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	30	14,72	0,02	0,0030	0,0048
	31	15,29	0,01	0,0010	0,0017
Novembro	1		0,02	0,0030	0,0051
	2	3,40	0,01	0,0010	0,0017
	3	46,14	0,04	0,0080	0,0137
	4		0,02	0,0030	0,0051
	5		0,01	0,0010	0,0017
	6	1,13	0,01	0,0010	0,0017
	7	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	8		0,01	0,0010	0,0017
	9		0,01	0,0010	0,0017
	10	9,62	0,01	0,0010	0,0017
	11	1,70	0,02	0,0030	0,0051
	12	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	13		0,01	0,0010	0,0017
	14		0		
	15		-0,01		
	16		-0,01		
	17		-0,01		
	18		-0,01		
	19	5,38	-0,02		
	20	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	21		0		
	22		-0,01		
	23		-0,01		
	24		-0,03		
	25		-0,03		
	26	22,65	0,01	0,0010	0,0017
	27		0		
	28		-0,01		
	29		-0,02		
	30		-0,02		
Dezembro	1	28,31	-0,02		
	2	-	-0,03		
	3	-	0,01	0,0010	0,0017
	4	-	0		
	5	-	-0,01		
	6	19,25	-0,02		
	7	4,53	0,01	0,0010	0,0017
	8	-	0,01	0,0010	0,0017
	9	2,83	0,01	0,0010	0,0017
	10	1,70	0		
	11	23,78	0		
	12	9,62	0,02	0,0030	0,0051
	13	1,70	0,01	0,0010	0,0017
	14	1,13	0,01	0,0010	0,0017
	15	-	0,01	0,0010	0,0017
	16	-	0		
	17	3,68	0		
	18	36,80	0		
	19	-	0,04	0,0080	0,0137

Meses	Dias	Precipitação (mm)	Linimetria (m)	H 3/2 (m)	Vazão (m3/s)
	20	-	0,02	0,0030	0,0051
	21	-	0		
	22	-	0		
	23	-	0		
	24	-	0		
	25	-	-0,01		
	26	25,48	0,01	0,0010	0,0017
	27	-	0,01	0,0010	0,0017
	28	-	0		
	29	-	0		
	30	-	0		
	31	-	0		0,0021
Valores anuais	Precipitação Total 1.203,6mm			Vazão média	0,0011 m3/s

* Largura da soleira (L) = 1 metro / Prec. – precipitação (mm)

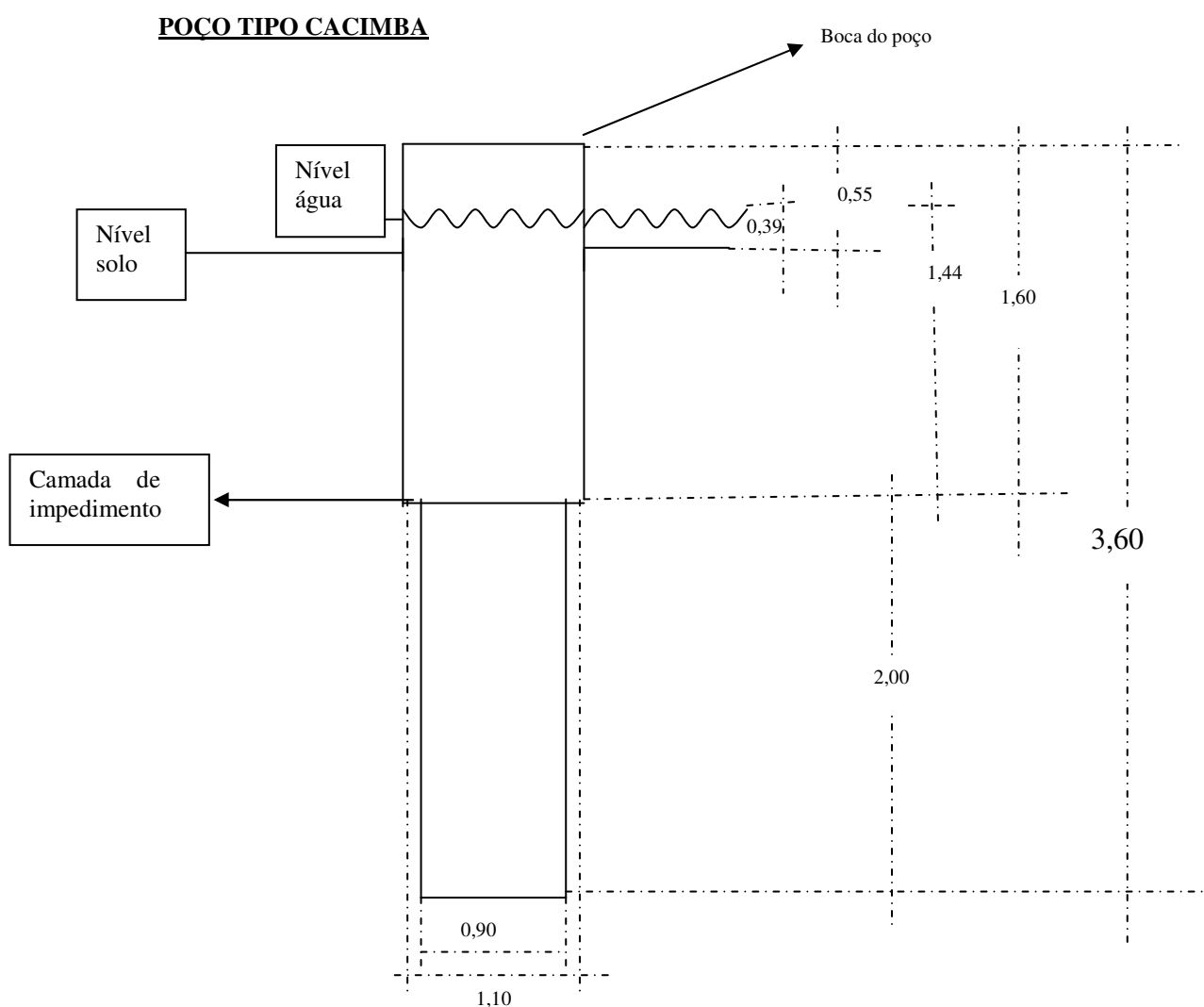
8.4 PRECIPITAÇÕES E VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS. DADOS NO ANO 2005.

Meses	Precipitação (mm)	Vazão (l/s)
-------	-------------------	-------------

8.5 ESPECIFICAÇÕES DOS TESTES DE BOMBEAMENTO NO POÇO TIPO CACIMBA

Dados gerais do teste:

- Data de realização: 15/07/ 2004 Horário início medição: 14 horas e 12 minutos.
- Nível inicial da água no poço: 3,39 metros
- Testes feitos 1 hora após o esvaziamento do poço.
- Foram feitas três avaliações em diferentes profundidades iniciando a 50 centímetros da boca do poço e variando 50 centímetros entre si, com balde de 10 litros e três repetições.
- Sistema de bombeamento - Bomba Dancor Modelo CAM – W6C, potência de 3/4 cv, sucção de PVC 50 mm, com 3,50 metros de altura do eixo da bomba a válvula de pé.
- Motor elétrico WEG monofásico de 60 Hz – 250 volts e 3385 RPM.
- Filtro Iguana Survival. Medição feita na posição de retro lavagem.
- Observação – Na data da avaliação o poço encontrava-se submerso (Figura 11).
- Medição do Tempo de Reposição de Água no Poço: Feitas três avaliações de 5 minutos com intervalo de 5 minutos entre elas, totalizando 25 minutos de medição.



8.6 CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K), PELO MÉTODO DE HVORSLEV.

$$K = A/F(t_2 - t_1) \ln (h_1/h_2)$$

$$D = 5 \text{ cm}$$

$$A = \pi R^2 = 19,625 \text{ cm}^2$$

$$F = 2.75/1+(11/\pi) (L/D) = 1,7174$$

Onde **D** é o diâmetro do furo, **L** é a altura de filtragem e **A** é a área do furo.

Descrição	Profundidade (cm)	Área (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	h1/h2	ln h1/h2	t1 (s)	t2 (s)	t2 - t1 (s)	F (t1 - t2)	K (cm/s)
Poço 0	25 - 35	19,63	33,00	25,50	1,29	0,26	0	210	210	360,65	1,40E-02
		19,63	35,00	25,50	1,37	0,32	0	150	150	257,61	2,41E-02
		19,63	30,00	25,04	1,20	0,18	0	270	270	463,69	7,65E-03
											1,53E-02
Poço 1	35-45	19,63	86,00	76,00	1,13	0,12	0	330	330	566,74	4,28E-03
		19,63	88,00	76,00	1,16	0,15	0	300	300	515,21	5,58E-03
		19,63	88,00	76,00	1,16	0,15	0	300	300	515,21	5,58E-03
											5,15E-03
Poço 3	65 -75	19,63	82,50	81,30	1,01	0,01	0	150	150	257,61	1,12E-03
		19,63	83,00	81,50	1,02	0,02	0	180	180	309,13	1,16E-03
		19,63	83,00	81,50	1,02	0,02	0	180	180	309,13	1,16E-03
											1,14E-03
Poço 5	75 - 85	19,63	137,00	118,90	1,15	0,14	0	780	780	1339,56	2,08E-03
		19,63	129,50	118,90	1,09	0,09	0	510	510	875,87	1,91E-03
											2,00E-03
Poço 6	80 - 90	19,63	130,50	126,70	1,03	0,03	0	180	180	309,13	1,88E-03
		19,63	130,00	126,90	1,02	0,02	0	150	150	257,61	1,84E-03
		19,63	130,50	126,70	1,03	0,03	0	360	360	618,26	9,38E-04
											1,55E-03
Poço 7	35 - 45	19,63	51,00	44,00	1,16	0,15	0	270	270	463,69	6,25E-03
		19,63	51,00	44,00	1,16	0,15	0	180	180	309,13	9,38E-03
		19,63	51,00	44,00	1,16	0,15	0	180	180	309,13	9,38E-03
											8,33E-03
Poço 8	147	19,63	71,00	67,00	1,06	0,06	0	21600	21600	37095,47	3,07E-05

9 ANEXO

9.1 QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Discriminação	Unidades	Padrão Potabilidade (Port. 518/04 ANVISA)	Características Classe 3 (Res. 357/05 CONAMA)
▪ pH	xxx	6,0 a 9,5	6,0 e 9,0
▪ Sólidos Totais	mg/l	< 1000	< 500
▪ Sódio	mg/l	< 200	xxxxxx
▪ Cloretos	mg/l	< 250	< 250
▪ Sulfatos	mg/l	< 250	< 250
▪ Ferro	mg/l	< 0,3	< 5

9.2 DIRETRIZES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.

Discriminação	Unidades	Grau de restrição ao uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade do solo: ▪ Condutividade elétrica da água (CEi) ▪ Total de sólidos solúveis (TST)	mmhos/cm mg/l	< 0,7 < 450	0,7 a 3,0 450 a 2000	> 3,0 > 2000
Capacidade de infiltração do solo:				
▪ RAS = 0 a 3 e CEi de	mmhos/cm	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
▪ RAS = 3 a 6 e CEi de	mmhos/cm	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
▪ RAS = 6 a 12 e CEi de	mmhos/cm	> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
▪ RAS = 12 a 20 e CEi de	mmhos/cm	> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
▪ RAS = 20 a 40 e CEi de	mmhos/cm	> 5,0	5,0 a 2,9	< 2,9
Toxicidade: ▪ Sódio (Na+) irrigação por superfície irrigação por aspersão ▪ Cloro (Cl-) irrigação por superfície irrigação por aspersão ▪ Boro (Bo)	RAS me/l me/l me/l mg/l	< 3,0 < 3,0 < 4,0 < 3,0 < 0,7	3,0 a 9,0 > 3,0 4,0 a 10,0 > 3,0 0,7 a 3,0	> 9,0 > 10,0 > 3,0
Miscelâneos: ▪ Bicarbonato (HCO ₃) ▪ Nitrogênio (NO ₃ -N) ▪ Ferro (Fe) ▪ pH	me/l mg/l mg/l adequado	< 1,5 < 5,0 < 5 p/ plantas e ≤ 0,1 p/ equipamentos irrigação	1,5 a 8,5 5,0 a 30,0 6,5 a 8,4	> 8,5 > 30,0

Fonte: Adaptado de University of Califórnia Committee of Consultants (1974, *apud* AYRES; WESTCOT, 1985).

* RAS - relação de adsorção de sódio; CEi – condutividade elétrica; mmhos/cm – milimoles por centímetro; me/l - miliequivalente por litro; mg/l - miligramas por litro

F866 Freitas, Iara Mello de
Efeitos ambientais de barragem subterrânea na microbacia
do Córrego Fundo, Região dos Lagos - RJ / Iara Mello de
Freitas. – Niterói: s.n., 2006.
112 f. il.
Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universi-
dade Federal Fluminense, 2006.

1. Barragem subterrânea – Impacto ambiental. 2. Águas
subterrâneas – Rio de Janeiro (Estado). I. Título.

CDD 333.714098153

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)